



---

# LINEE GUIDA PER LA RIDUZIONE DEI GAS SERRA NELL'ALLEVAMENTO DEL BOVINO DA CARNE

---

*Progetto di ricerca LIFE BEEF CARBON “Azioni dimostrative per la riduzione dell'impronta di carbonio degli allevamenti da carne in Francia, Irlanda, Italia e Spagna”*  
**LIFE14 CCM/FR/001125**

A cura di

Giacomo Pirlo, Luciano Migliorati, Stefano Uggeri, Sara Carè

CONSIGLIO PER LA RICERCA IN AGRICOLTURA E L'ANALISI DELL'ECONOMIA AGRARIA  
Centro di ricerca Zootecnia e acquacoltura

## INDICE

### **CAPITOLO 1:** Il ruolo dell'allevamento nei cambiamenti climatici

1.1. L'effetto serra

1.2. Importanza dell'agricoltura e dell'allevamento nelle emissioni globali, europee e nazionali di gas ad effetto serra

1.3. Il sequestro del carbonio

### **CAPITOLO 2:** Il progetto *LIFE BEEF CARBON*: obiettivi e struttura

### **CAPITOLO 3:** Le attività svolte

### **CAPITOLO 4:** La partecipazione degli allevatori, la formazione, gli incontri e la divulgazione

### **CAPITOLO 5:** La valutazione dell'impatto ambientale nell'allevamento di bovini da carne: CAP2ER®

### **CAPITOLO 6:** Le strategie di mitigazione

6.1. Alimentazione

6.2. Il benessere animale

6.3. Produzione di energia da fonti rinnovabili

6.4. Gestione delle deiezioni

6.5. Sequestro del carbonio

### **CAPITOLO 7:** I risultati delle aziende del progetto

# CAPITOLO 1: Il ruolo dell'allevamento nei cambiamenti climatici

## 1.1 L'effetto serra

La terra sta attraversando un periodo di intenso e rapido riscaldamento della superficie terrestre e dei mari. All'aumento della temperatura sono legati altri fenomeni che definiscono un quadro di cambiamento del clima: una diminuzione dello spessore e della superficie dei ghiacci, un aumento della frequenza di eventi climatici estremi quali le alluvioni o all'opposto lunghi periodi siccitosi e l'aumento della frequenza, durata e intensità delle ondate di caldo, cui si associano altri fenomeni correlati come, ad esempio, la modifica degli areali tipici di certe colture oppure la migrazione di specie vegetali o animali da una regione all'altra della terra.

Alla base di questo fenomeno c'è il cosiddetto "effetto serra", che consente alla terra di trattenere parte dell'energia solare, limitare l'escursione termica, permettere di avere una temperatura mite e creare le condizioni per la formazione dell'acqua. Non tutta l'energia radiante proveniente dal sole raggiunge la superficie terrestre. Una parte infatti viene riflessa dall'atmosfera, mentre un'altra riesce a penetrarla e a riscaldare gli strati bassi e la superficie della terra e dei mari. La terra non trattiene però tutta questa energia, perché una parte viene riflessa ulteriormente sotto forma di radiazioni infrarosse. Queste, a loro volta, in parte sfuggono e in parte vengono trattenute dall'atmosfera.

L'effetto serra esercitato dall'atmosfera è reso possibile dalla presenza di alcuni gas che, per la loro conformazione asimmetrica, sono penetrabili dai raggi provenienti dal sole, ma sono in grado di trattenere le radiazioni infrarosse.

Questi gas sono i cosiddetti "gas ad effetto serra" o gas climalteranti, *greenhouse gas* (GHG), di cui i principali sono: il vapore acqueo ( $H_2O$ ), l'anidride carbonica ( $CO_2$ ), il metano ( $CH_4$ ), il protossido d'azoto ( $N_2O$ ), l'esafluoruro di zolfo ( $SF_6$ ), i clorofluorocarburi (CFC) e gli idroclorofluorocarburi (HCFC). Il più importante tra tutti è il vapore acqueo, che tuttavia non è preso in considerazione nel Protocollo di Kyoto del 1997, con il quale gran parte delle nazioni si sono impegnate a ridurre le emissioni dei gas ad effetto serra prodotti da attività umane. Il motivo della sua esclusione dall'elenco dei gas da ridurre è il fatto che il vapore acqueo si forma a seguito dell'evaporazione, che richiede energia, rappresentando perciò una conseguenza del riscaldamento globale e non una causa di esso. Tuttavia, il vapore acqueo svolge ugualmente un ruolo importante nel riscaldamento globale, perché può amplificare l'effetto degli altri gas.

Il fenomeno del riscaldamento globale è determinato dall'aumento della concentrazione dei gas ad effetto serra nell'atmosfera (Figure 1-3). Questo aumento è iniziato con l'avvento dell'industrializzazione che è stata resa possibile dall'utilizzazione in misura sempre più massiccia dei combustibili fossili, come il carbone, il petrolio o il gas naturale. Con il loro utilizzo, enormi quantità di carbonio depositate nei giacimenti per milioni di anni sono state liberate in atmosfera. L'innalzamento della temperatura terrestre ha posto il problema di dover ridurre le emissioni di  $CO_2$  e degli altri gas, quali il  $CH_4$  e l' $N_2O$  che, sebbene in misura inferiore, partecipano al fenomeno dei cambiamenti climatici.

Figura 1. Concentrazione di  $CO_2$  in atmosfera

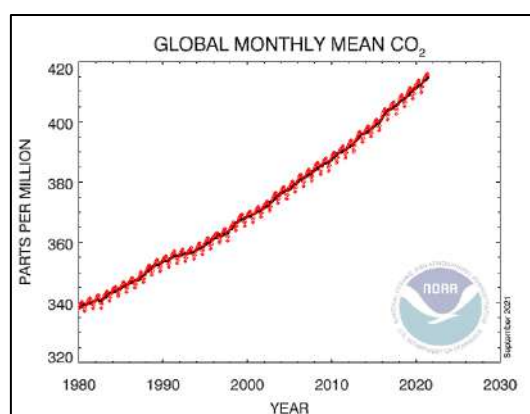


Figura 2. Concentrazione di CH<sub>4</sub> in atmosfera

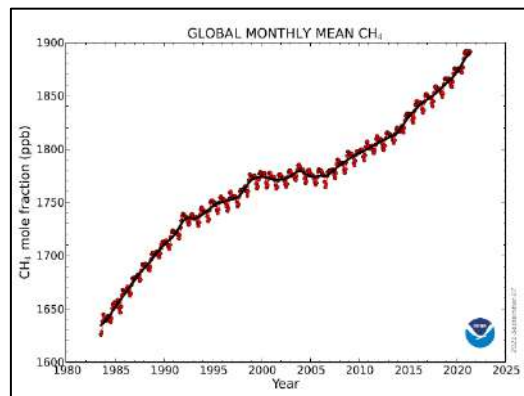
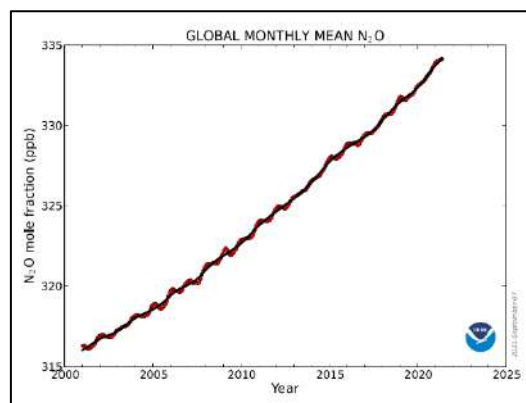


Figura 3. Concentrazione di N<sub>2</sub>O in atmosfera



La principale fonte di emissione di CO<sub>2</sub> è rappresentata dalla respirazione degli organismi viventi e dalla ossidazione della sostanza organica, che sono però compensate dalla fotosintesi, che la cattura per sintetizzare molecole organiche, e non comportano quindi nessun accumulo in atmosfera. Per questo motivo la CO<sub>2</sub> prodotta per respirazione e ossidazione e quella assorbita per fotosintesi non entrano nel computo delle emissioni.

Ogni gas ad effetto serra è caratterizzato da una sua propria capacità di contribuire al riscaldamento globale, dato dalla sua forza radiante che indica l'incremento della capacità di trattenere l'energia radiante in funzione dell'aumento della sua concentrazione in atmosfera, e dallo spazio di tempo cui l'incremento di temperatura fa riferimento. Per poter sommare l'effetto sull'incremento della temperatura terrestre di tutti i gas, il contributo al riscaldamento globale di ogni sostanza è espresso in termini di *global warming potential* (GWP), che è dato dal rapporto tra la sua capacità di assorbire le radiazioni infrarosse e quella di 1 kg di CO<sub>2</sub>. Nella Tabella 1 sono riportati i GWP dei gas che riguardano il settore agricolo, aggiornati secondo le ultime indicazioni dell'IPCC (2013). In questo modo, le emissioni di tutti i gas serra possono essere espresse in termini di CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>eq). Poiché la vita dei gas in atmosfera varia moltissimo, da secondi a secoli, i GWP sono calcolati per diversi orizzonti di tempo (in genere da 20 a 100 anni).

Tabella 1. Fattori di caratterizzazione, sulla base del *Global warming potential*, dei gas ad effetto serra direttamente riguardanti l'agricoltura (tabella 8.A.1 dell'IPCC, 2013)

Fattore di caratterizzazione			
Nome del gas	Formula	20 anni	100 anni
Anidride carbonica	CO <sub>2</sub>	1	1
Metano	CH <sub>4</sub>	84	28
Metano fossile	CH <sub>4</sub>	85	30
Protossido d'azoto	N <sub>2</sub> O	264	265

Recentemente ha acquistato molto interesse anche un'altra caratteristica specifica di ogni gas ad effetto serra: l'emivita, che indica in quale lasso di tempo la concentrazione di un certo gas in atmosfera si dimezza. L'emivita della CO<sub>2</sub> è lunghissima, oltre i 1000 anni, quella del protossido dell'N<sub>2</sub>O è lunga (121); al contrario quella del CH<sub>4</sub> è di 12,4 anni ed è considerata breve (IPCC, 2013).

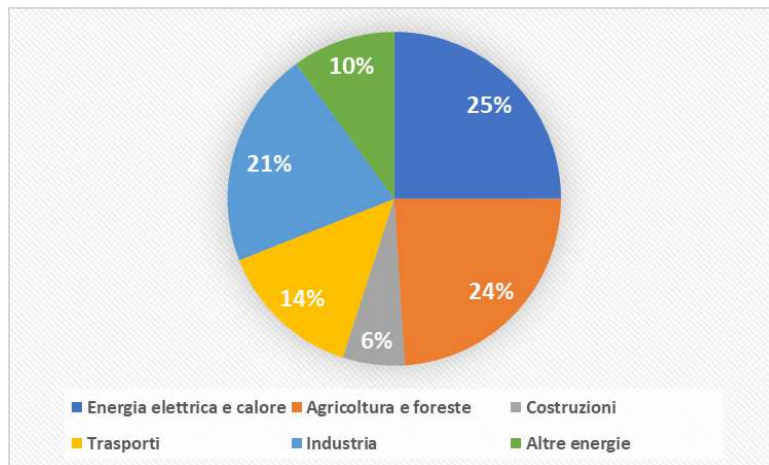
Da questi elementi emerge che le riduzioni di emissioni di CO<sub>2</sub> e di N<sub>2</sub>O avranno un effetto sulla loro concentrazione in atmosfera solo a lungo termine. Per cui è necessario non solo ridurre le emissioni ma avere anche un sostanziale assorbimento in particolare della CO<sub>2</sub>. Al contrario, le azioni di riduzione delle emissioni di CH<sub>4</sub> avranno un effetto a breve termine e permanente sulla sua concentrazione. Per l'allevamento questo fatto potrà avere conseguenze importanti, perché per rallentare l'innalzamento della temperatura dell'atmosfera nell'immediato una delle strategie sarà quella di agire in modo drastico sulle emissioni di CH<sub>4</sub> (UNEP-CCAC, 2021). Il 2 novembre 2021, infatti, 103 paesi di tutti i continenti, tra cui l'Unione Europea e gli Stati Uniti, hanno raggiunto un accordo sul cosiddetto *Global Methane Pledge* impegnandosi a ridurre le emissioni di CH<sub>4</sub> in atmosfera del 30% entro il 2030.

## 1.2. Importanza dell'agricoltura e dell'allevamento nelle emissioni globali, europee e nazionali di gas ad effetto serra

L'agricoltura ha un ruolo importante nel fenomeno dei cambiamenti climatici perché è fonte di gas ad effetto serra. In base ai dati raccolti dall'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (Blanco et al., 2014) a fronte di un'emissione globale di circa 49 miliardi di tonnellate (Gt) di CO<sub>2</sub>eq, all'agricoltura spetta una quota di circa 11,8 Gt, pari al 24% del totale (IPCC, 2014). In questo quadro, fondamentale è il ruolo dell'allevamento animale, cui si deve il 63% di tutte le emissioni dell'agricoltura (FAOSTAT, 2014).

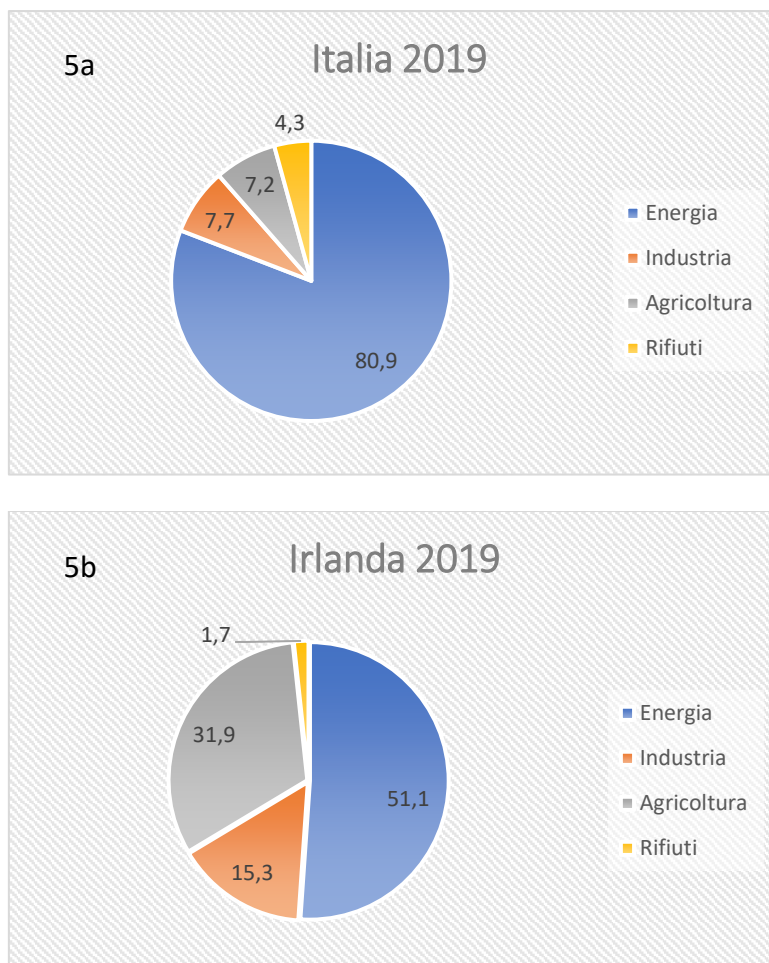
L'agricoltura riveste anche un importante ruolo nell'assorbimento della CO<sub>2</sub>, che può essere immagazzinata per un tempo abbastanza lungo nelle biomasse delle colture pluriennali e nel suolo dei prati e dei pascoli. Va precisato, inoltre, che in base al sistema di contabilità dell'IPCC nella quota spettante all'agricoltura non si tiene conto di tutte le attività che sono a monte e a valle dell'attività agricola e che generano emissioni di CO<sub>2</sub>, soprattutto per quanto riguarda l'uso di combustibili fossili (Figura 4).

Figura 4. Contributo dei settori economici alle emissioni di gas serra nel mondo (IPCC, 2013).



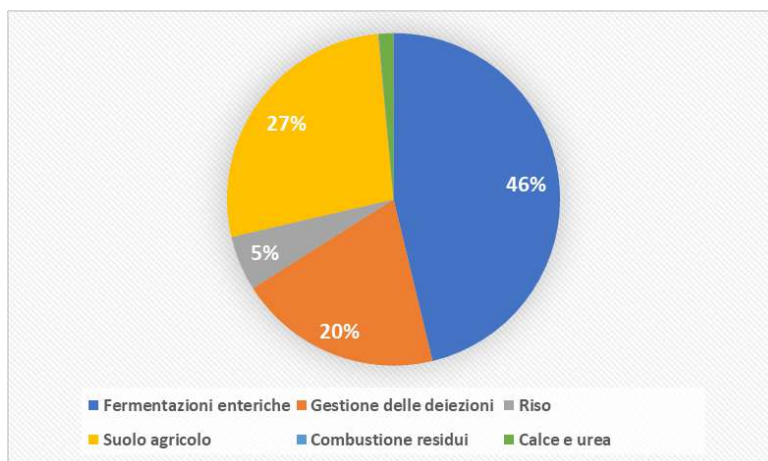
Rispetto alla scala mondiale, a livello europeo il contributo dell'agricoltura alla emissione di GHG è molto diverso. In base alle statistiche fornite dall'European Environment Agency (EEA, 2019), nel 2017 i 28 paesi europei più l'Islanda hanno emesso 4333 Milioni di tonnellate (Mt) di CO<sub>2</sub>eq e all'agricoltura è stato attribuito solo il 10% di esse, mentre è il settore energetico quello con le maggiori emissioni (78%). Ci sono però differenze molto rilevanti tra un paese membro e l'altro come si può vedere confrontando le figure 5a e 5b.

Figura 5. Contributo dei settori economici alle emissioni di gas serra in Italia nel 2019 (5a) e in Irlanda (5b).



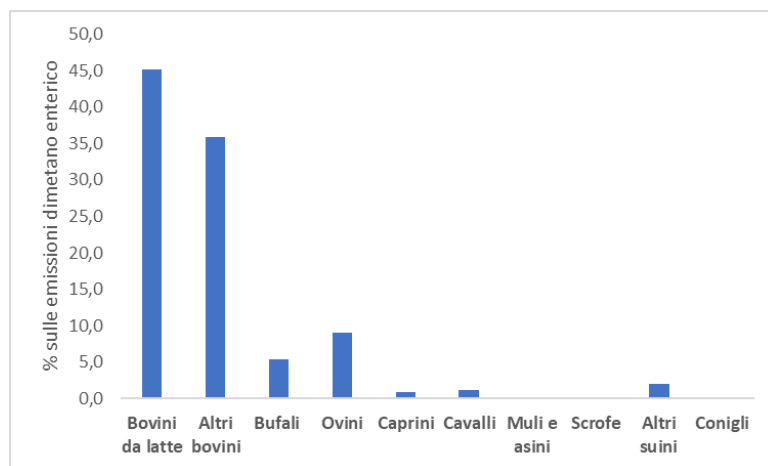
Il peso dell'agricoltura sull'economia di una nazione, espresso in termini percentuali, si riflette sull'incidenza di questo settore sulle emissioni di gas ad effetto serra. Ove l'agricoltura ha un'incidenza maggiore sul PIL, come ad esempio l'Irlanda o la Francia, il peso di questo settore è molto elevato. In altri paesi invece, come ad esempio la Germania, che pure hanno emissioni totali elevate, il contributo dell'agricoltura è limitato. L'Italia si colloca tra i paesi in cui il peso dell'agricoltura sulle emissioni totali è tra i più bassi (appena il 6,9%). Di tutti i gas climalteranti, solo il CH<sub>4</sub> e l'N<sub>2</sub>O sono veramente importanti per l'agricoltura; la CO<sub>2</sub> partecipa con una percentuale minima perché quella derivante dalle combustioni che servono per muovere le macchine o alimentare i processi produttivi per ottenere fertilizzanti, essiccare i foraggi e le granaglie, ad esempio, è contabilizzata nel settore energetico. Le principali fonti di emissione del settore agricolo in Italia sono illustrate nella figura 6.

Figura 6. Fonti agricole di gas serra Italia (ISPRA, 2019).



La voce più importante è quella delle fermentazioni enteriche: si tratta del CH<sub>4</sub> che si produce nel corso dei fenomeni digestivi ed è particolarmente importante nei ruminanti, a causa dell'azione dei microrganismi ruminali. È questo il motivo per cui la produzione del latte e della carne bovina sono additati come gli alimenti con il maggior impatto sul riscaldamento globale.

Figura 7. Emissioni di metano enterico delle specie animali Italia nel 2018.



Dalla figura 7 si vede bene quale è il peso della produzione di latte e di carne sulle emissioni di CH<sub>4</sub> enterico. Dal settore del latte vaccino arrivano le maggiori emissioni di CH<sub>4</sub> enterico; inferiori, ma non di molto, sono quelle che riguardano gli animali degli allevamenti di bovini da carne.

Un altro forte contributo è quello dei suoli agricoli, dai quali viene emesso soprattutto l'N<sub>2</sub>O che si forma dagli effluenti zootecnici o dai fertilizzanti azotati di sintesi distribuiti sui campi; a queste fonti si sommano poi i residui colturali e i composti azotati che si depositano sul suolo con le precipitazioni. Molto importanti per il settore zootecnico sono le emissioni di CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O che si generano dai reflui zootecnici, solidi e liquidi, presenti nei ricoveri o nelle vasche di raccolta. Anche la coltivazione del riso ha un suo rilievo, perché con la sommersione si forma un ambiente anaerobico favorevole alle emissioni di CH<sub>4</sub>. Del tutto marginali, per l'agricoltura italiana, sono le altre fonti, come ad esempio l'incenerimento dei residui colturali.

I gas ad effetto serra che interessano il settore animale sono il CH<sub>4</sub> (44% delle emissioni), l'N<sub>2</sub>O (29%) e la CO<sub>2</sub> (27%).

Andando a vedere quale è il prodotto animale che pesa di più in termini di emissioni di gas ad effetto serra, la carne bovina è quella al primo posto, con il 41% di tutte le emissioni, mentre al latte bovino spetta il 20%. Oltre al sistema IPCC, esiste un altro sistema di contabilizzazione delle emissioni. Si tratta dell'Analisi del Ciclo di Vita (*Life Cycle Assessment* o LCA), che prevede la stima dell'impatto ambientale di un settore, un prodotto o un servizio considerando tutte le fasi a monte e a valle per realizzarlo. Poiché i due sistemi sono diversi, i risultati riguardanti il peso del settore agricolo-zootecnico ottenuti con i due sistemi differiscono inevitabilmente. Un'avvertenza di cui tener sempre conto, quando si leggono dei dati in merito all'impatto ambientale di un qualsiasi prodotto, servizio o attività è quella di verificare quale sistema di contabilità è stato adottato.

Secondo uno studio della FAO (Gerber et al., 2013) il settore zootecnico contribuisce, su scala mondiale, al 14,5% delle emissioni di gas serra. Questo studio è stato condotto con l'approccio LCA e tiene conto non solo delle emissioni dirette, ma anche di quelle indirette connesse al settore zootecnico, che comprendono quelle che derivano dalla produzione e lavorazione degli alimenti per gli animali, dei trasporti, dei processi di trasformazione dei prodotti e dai cambiamenti di utilizzazione del suolo dovuti alla produzione di alimenti zootecnici.

### 1.3. Il sequestro del carbonio

Dopo gli oceani il suolo è il più importante contenitore di carbonio (C). Si stima che il C che vi è immagazzinato ammonta a circa 2500 miliardi di tonnellate, di cui circa 1550 sotto forma di C organico e i rimanenti come inorganico, ed è circa 3,3 volte quello presente in atmosfera (Lal, 2004) e due volte quello della vegetazione (Batjes, 1996). La forma organica è costituita da humus, da porzioni vegetali, come foglie e radici, da organismi morti, dagli escrementi animali e dalla biomassa microbica. Quando un suolo "naturale" viene convertito in suolo agricolo, si verifica un'importante perdita di C organico, principalmente sotto forma di CO<sub>2</sub>, a causa dei fenomeni di ossidazione a carico delle molecole organiche che da un ambiente anaerobico passano ad uno fortemente aerobico.

Tuttavia, il suolo ha la potenzialità di sequestrare una quota del C contenuto in atmosfera e contribuire al contenimento del riscaldamento globale. L'allevamento può avere un ruolo molto importante in tal senso. Aumentando la superficie a pascolo o, in alternativa prati permanenti, si favorisce l'accumulo nel terreno di sostanza organica. Anche altre misure, che vedremo in dettaglio nei capitoli successivi, favoriscono l'accumulo di C nel terreno, come ad esempio le minime lavorazioni, l'uso razionale dei reflui e la piantumazione di siepi e alberi.

La capacità dei suoli di sequestrare il C non è tuttavia permanente (Smith, 2014) e la sua durata dipende da molti fattori, quali il tipo di suolo, il clima, il sistema foraggero, l'irrigazione e la concimazione (Arrouays et al., 2002).



## CAPITOLO 2: Il progetto LIFE BEEF CARBON: obiettivi e struttura

Il progetto *LIFE BEEF CARBON* dal titolo "Azioni dimostrative per la riduzione dell'impronta di carbonio degli allevamenti da carne in Francia, Irlanda, Italia e Spagna) è stato finanziato dall'Unione Europea attraverso il programma LIFE (LIFE14 CCM/FR/001125). Il progetto ha avuto inizio nel mese di gennaio 2016 e è terminato nel dicembre del 2021.

Il progetto si proponeva di sviluppare un "*BEEF CARBON ACTION PLAN*" ossia un piano di azione che porti alla riduzione dell'impronta di carbonio della carne bovina in quattro paesi europei produttori di carne bovina: Francia, Irlanda, Italia e Spagna. Nello specifico, 172 aziende "innovative" partecipanti al progetto si sono impegnate a ridurre la loro impronta di carbonio di almeno il 15% in dieci anni. Il progetto ha visto inoltre il monitoraggio di circa 2000 aziende cosiddette "dimostrative", che nel periodo del progetto non hanno assunto un impegno esplicito ad introdurre innovazioni miranti alla riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra. Proiettata a livello delle popolazioni bovini dei quattro stati coinvolti, la riduzione dell'impronta di carbonio conseguita nelle aziende innovative è pari a un dato teorico di 10 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub> eq. Per raggiungere tale obiettivo, il *BEEF CARBON PLAN* indica che devono essere promossi sistemi di allevamento innovativi che migliorano la sostenibilità tecnica, economica, ambientale e sociale delle aziende da carne. L'adozione di questi sistemi di allevamento potrà così rendere compatibile l'attività zootecnica con gli obiettivi generali di lotta ai cambiamenti climatici.

La riduzione dell'impronta di carbonio della carne prodotta viene ottenuta mediante l'applicazione di una serie di misure di mitigazione che riguardano il miglioramento genetico, il benessere degli animali, l'alimentazione, la gestione dei reflui zootecnici, la fertilizzazione, il comparto energetico e il sequestro di carbonio.

Il progetto è stato coordinato dall'Institut de l'Elevage (IDELE) francese e ha avuto come partner leader nazionali il Teagasc per l'Irlanda, l'ASOPROVAC per la Spagna e il Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA) per l'Italia. Tra enti di ricerca, associazioni allevatori e altri soggetti impegnati nella filiera della carne, i partner europei sono stati 57.

Per l'Italia i partner sono stati, oltre al CREA, due associazioni di allevatori di due regioni particolarmente vocate alla produzione di carne bovina: l'ASPROCARNE (Organizzazione Produttori Carne-Piemonte) del Piemonte e l'UNICARVE (Associazione allevatori carni bovine-Veneto) del Veneto. Le due associazioni hanno avuto il compito di raccogliere i dati gestionali di 120 allevamenti, mediante un'apposita scheda di rilevazione preparata dal CREA, di cui 100 dimostrative e 20 innovative, per valutare l'effetto dell'applicazione di una serie di azioni di riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra. Le tipologie di allevamento considerate in Italia sono state: linea vacca-vitello a ciclo aperto, linea vacca-vitello a ciclo chiuso e ingrasso specializzato. La stima dell'impronta di carbonio e la valutazione della potenziale riduzione dei gas serra è stata svolta dal CREA utilizzando il modello di calcolo CAP'2ER<sup>®</sup> messo a punto dall'IDELE. Le associazioni hanno inoltre avuto il compito di diffondere i risultati della ricerca presso i propri allevatori, attraverso incontri e visite presso allevamenti italiani ed europei, sensibilizzandoli alle problematiche ambientali connesse alla loro attività.

## CAPITOLO 3: Le attività svolte

Il progetto *LIFE BEEF CARBON* ha fissato tre obiettivi principali. Il primo, che comprendeva le azioni di implementazione, è stato quello di creare un quadro di riferimento di carattere tecnico-scientifico per ottenere una significativa riduzione delle emissioni di gas serra dagli allevamenti di bovini da carne. Con le azioni di monitoraggio, si è invece perseguito l'obiettivo di misurare i progressi, in termini di riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra, ottenuti grazie all'applicazioni delle strategie di mitigazione. Il terzo obiettivo ha riguardato la diffusione dei risultati, con una serie di azioni di comunicazione e di disseminazione delle tecniche di mitigazione applicate tra gli allevatori che hanno partecipato al progetto.

### Azioni d'implementazione:

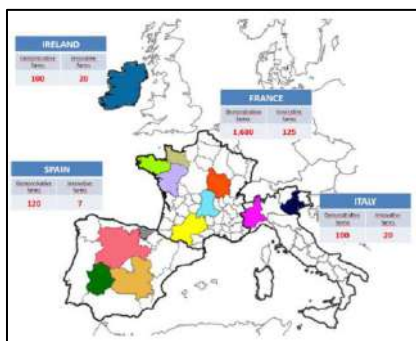
- 1) AZIONE C1: Sviluppo di un approccio condiviso a livello europeo per la riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra negli allevamenti di bovini da carne.
- 2) AZIONE C2: Attività di formazione dei tecnici e degli allevatori coinvolti nel progetto.
- 3) AZIONE C3: Costituzione di un osservatorio nazionale ed europeo di aziende dimostrative che ha consentito di raccogliere dati sulle emissioni di gas ad effetto serra per implementare le banche dati nazionali ed europee.
- 4) AZIONE C4: Costituzione di un gruppo europeo di aziende innovative che è stato utilizzato per testare l'efficacia delle strategie di mitigazione individuate nell'azione C1.
- 5) AZIONE C5: Costituzione di un network di allevatori europei per favorire lo scambio e la diffusione della conoscenza tra gli allevatori e i tecnici dei quattro paesi che hanno aderito al progetto.
- 6) AZIONE C6: Realizzazione di un piano d'azione nazionale per la riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra negli allevamenti di bovini da carne (*BEEF CARBON ACTION PLAN*).

All'inizio del progetto, i partner europei si sono confrontati per sviluppare una metodologia comune di calcolo delle emissioni di gas ad effetto serra e per individuare le azioni di mitigazione più efficaci per le diverse regioni e i diversi sistemi produttivi. In questo modo si è creato un approccio condiviso per la riduzione delle emissioni dagli allevamenti da carne dei paesi coinvolti nel progetto.

Per sviluppare la metodologia di calcolo è stata fatta un'analisi della letteratura sui principali modelli di calcolo delle emissioni presenti a livello nazionale e in Europa, con la finalità di valutare per ciascuno di essi la metodologia, le formule utilizzate, gli obiettivi, i fattori di emissione, gli impatti ambientali calcolati e lo scopo dell'analisi; successivamente, per ogni paese è stato individuato il modello di calcolo da utilizzare per tutta la durata del progetto: CAP'2ER® per la Francia e l'Italia, Carbon Audit per l'Irlanda e Bovid-CO<sub>2</sub> per la Spagna.

Tutti e tre i modelli di calcolo stimano le emissioni di gas ad effetto serra applicando la metodologia LCA e seguono le linee guida dell'IPCC (2006) per la determinazione dei fattori di emissione. Successivamente sono state individuate le azioni di mitigazione delle emissioni e aumento del sequestro di carbonio da applicare negli allevamenti di bovini da carne. Tali strategie sono state scelte grazie ad una attenta analisi della letteratura disponibile (Hristov et al., 2013; Dollè et al., 2013). Alcune di queste sono definite "win-win" perché presentano vantaggi sia ambientali sia economici. Si tratta per questo di strategie particolarmente gradite dagli agricoltori. Altre invece possono rappresentare un costo per l'allevatore. In questo caso sono necessarie forme di compensazione, attraverso l'intervento degli organi nazionali e regionali responsabili dell'applicazione della Politica Agricola Comunitaria.

Nell'azione C2, che ha riguardato la formazione, sono stati tenuti diversi incontri con i tecnici e gli allevatori delle aziende innovative. Per svolgere questa attività, ogni paese partner ha prodotto del materiale divulgativo in cui è stato illustrato il progetto, sono state date informazioni relative ai cambiamenti climatici e alle azioni che possono essere intraprese per ridurre l'impatto ambientale dell'allevamento da carne.



Per creare l'osservatorio nazionale ed europeo di aziende dimostrative, previsto nell'azione C3 del progetto, sono stati coinvolti 2000 allevamenti che rappresentano diversi sistemi produttivi (ingrasso specializzato, linea vacca vitello a ciclo aperto e a ciclo chiuso, ingrasso di vacche da latte per la produzione di carne) così distribuite all'interno dei quattro partner: Francia, 1680 allevamenti (distribuiti in Pays de Loire-Deux Sèvres, Bretagne, Basse Normandie, Bourgogne, Auvergne, Midi Pyrénées), Italia e Irlanda 100 allevamenti ciascuno (distribuiti in Piemonte e Veneto per l'Italia e su tutto il territorio nazionale per l'Irlanda) e Spagna 120 allevamenti (distribuiti in

Extremadura, Castilla y Leon, Castille la Mancha e Pais Vasco). Per ognuna di queste aziende è stata determinata l'impronta di carbonio utilizzando i modelli di calcolo descritti nell'azione C1. Tra queste aziende sono state individuate quelle che hanno mostrato il valore di impatto ambientale più elevato ed è stato proposto di applicare delle strategie di mitigazione testate nell'azione C4 per migliorare le loro performance

ambientali. Al termine di ogni analisi di impatto ambientale è stata elaborata una scheda tecnica con la valutazione dell'azienda e i risultati ottenuti sono stati discussi con ciascun allevatore.

L'azione C4 aveva lo scopo di ottenere delle aziende innovative con una bassa impronta di carbonio; dimostrare la fattibilità tecnica dell'applicazione di queste strategie in una realtà aziendale reale e valutare gli effetti economici derivanti dall'applicazione di queste strategie di mitigazione. A tal fine, nei quattro paesi partner sono state individuate 172 aziende innovative (125 in Francia, 20 ciascuno in Italia e in Irlanda, 7 in Spagna) in cui sono state applicate le strategie di mitigazione individuate nell'azione C1, verificando poi se l'introduzione di queste tecniche ha permesso una riduzione dell'impronta di carbonio.

Con l'azione C5 si è formato un network di allevatori europeo, che ha permesso di avere momenti di scambio di conoscenze ed esperienze. Il perseguimento di questo obiettivo è stato possibile grazie all'organizzazione di quattro meeting internazionali (uno per paese) della durata di tre giorni e otto meeting nazionali (due per paese) della durata di due giorni durante i quali è stato possibile visitare alcune aziende innovative, tenere degli incontri per favorire la discussione collettiva riguardo la tematica relativa all'impatto ambientale della carne bovina, il progetto *LIFE BEEF CARBON* e alla fattibilità tecnica, economica e sociale dell'applicazione del *BEEF CARBON ACTION PLAN*.

L'azione C6 ha previsto per ogni paese la preparazione del piano nazionale di riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra (*BEEF CARBON ACTION PLAN*) che è costituito dall'insieme di strategie di mitigazione che sono state applicate alle aziende innovative dell'azione C4 per la riduzione dell'impronta di carbonio, che può essere utilizzato da tutte le aziende che vogliono migliorare le performance ambientali e che può essere d'aiuto agli amministratori pubblici per la realizzazione di misure di valorizzazione e sostegno nell'ambito dei programmi di Sviluppo Rurale.

#### Azioni di monitoraggio:

- 1) AZIONE D1: Quantificazione del potenziale di mitigazione delle emissioni di gas ad effetto serra e l'aumento del sequestro del carbonio.
- 2) AZIONE D2: Valutazione degli altri benefici ambientali ottenuti nell'ambito del progetto *LIFE BEEF CARBON*.
- 3) AZIONE D3: Analisi dell'impatto socioeconomico del progetto.

La riduzione delle emissioni e l'aumento del sequestro di carbonio previsti nell'azione D1 sono stati valutati misurando la quantità di CO<sub>2</sub>eq risparmiata nelle aziende innovative e dimostrative alla fine del progetto per verificare se c'è stato un miglioramento delle performance ambientali derivanti dall'applicazione del *BEEF CARBON ACTION PLAN*.

Nel progetto *LIFE BEEF CARBON* era prevista la determinazione di eventuali altri guadagni ambientali, riguardanti la riduzione dell'acidificazione (kg SO<sub>2</sub>eq/kg PV prodotto), dell'eutrofizzazione (kg PO<sub>4</sub>eq/kg PV prodotto) e del consumo di acqua (l/ kg PV prodotto); la valutazione del contributo dell'allevamento da carne al paesaggio rurale e ai servizi ecosistemici.

L'applicazione del *BEEF CARBON ACTION PLAN* può comportare in alcuni casi un risparmio di tempo da dedicare al lavoro, un miglioramento delle condizioni di lavoro all'interno dell'azienda, una riduzione degli input (alimenti acquistati, fertilizzanti ecc..) da utilizzare in azienda per la produzione di carne, mentre in altri può richiedere ingenti investimenti per l'acquisto di attrezzature, per la realizzazione di nuove strutture in azienda o per la realizzazione dell'impianto di biogas; pertanto è necessario valutare anche questi aspetti per verificare che questo piano nazionale di riduzione delle emissioni sia economicamente e socialmente sostenibile sia per le singole aziende sia per la collettività. Tale valutazione prevista nell'azione D3 del progetto, potrebbe rappresentare un valido strumento da inserire in possibili meccanismi di compensazione che consentirebbero ad un elevato numero di allevatori di adottare le misure di riduzione delle emissioni previste nel *BEEF CARBON ACTION PLAN*.

## CAPITOLO 4: La partecipazione degli allevatori, la formazione, gli incontri e la divulgazione

Il progetto *LIFE BEEF CARBON* prevedeva una serie di attività volte alla formazione. Sia a livello nazionale sia europeo sono stati organizzati incontri tecnici ai quali hanno partecipato numerosi allevatori dei quattro paesi coinvolti. Sono state poi organizzate delle visite aziendali, per verificare sul posto i risultati di alcune misure di mitigazione, e si sono tenuti incontri tecnici-professionali con la presenza di allevatori e tecnici. Dal lato della divulgazione, sono stati stampati dépliant ed opuscoli e periodicamente è stata diffusa una *newsletter* per illustrare le attività, i risultati e le strategie di mitigazione; sono stati avviati alle stampe articoli divulgativi e scientifici; i ricercatori del CREA hanno partecipato a convegni del settore e tutto questo è stato condiviso attraverso l'utilizzo di una piattaforma digitale e di *social network*.



Il primo incontro tecnico con gli allevatori a livello europeo è stato organizzato in Francia a cura dell'IDELE dall'11 al 13 settembre 2018 nell'ambito del "*3 days international meeting*". L'incontro si è tenuto a Nantes ed ha visto il coinvolgimento di ricercatori, tecnici e allevatori provenienti da Francia, Irlanda, Italia e Spagna. Durante i tre giorni si sono alternati incontri e convegni, dove sono stati presentati i risultati dei primi venti mesi di lavoro con relazioni di tutti i quattro paesi coinvolti e visite in aziende zootecniche della Normandia, della Loira e della Bretagna con le testimonianze degli allevatori che hanno potuto mostrare le azioni intraprese per migliorare la sostenibilità ambientale delle loro aziende innovative.

All'iniziativa hanno partecipato i ricercatori del CREA, i tecnici e nove allevatori di UNICARVE e ASPROCARNE come rappresentanti delle centoventi aziende italiane coinvolte nel progetto. Gli allevatori europei si sono poi incontrati dal 15 al 17 ottobre 2019 a Carmagnola. Il programma si è articolato in un meeting iniziale e in una serie di visite tecniche presso quattro aziende innovative piemontesi. Durante il primo giorno, si è tenuto presso il Foro Boario di Carmagnola l'incontro sul tema "Riduzione dell'impronta di carbonio dell'allevamento bovino da carne" cui hanno partecipato circa ottanta persone. Avrebbero dovuto seguire due altri incontri a livello europeo, in Spagna e in Irlanda, ma la pandemia a causa del Covid 2019 ha determinato la soppressione di queste attività, che solo in parte sono state sostituite da incontri virtuali. Per tale ragione, si sono tenuti due meeting internazionali svoltisi in forma virtuale, organizzati dal Teagasc e dall'Asoprovac rispettivamente il 4 e 20 maggio 2021. Gli eventi erano rivolti in particolare agli allevatori da carne europei dei quattro paesi che hanno aderito all'iniziativa, per favorirne il confronto e fornire l'opportunità di condividere le esperienze in merito all'argomento. Ad ogni incontro, ricercatori, tecnici e rappresentanti di settore di ogni paese hanno presentato l'attività svolta nell'ambito del progetto e hanno fatto conoscere alcune realtà produttive del proprio paese e le strategie di mitigazione adottate per ridurre le emissioni.

Sono stati organizzati anche incontri rivolti agli allevatori italiani. Tra il 4 il 5 dicembre del 2018 si è tenuto il "2 days national meeting". Nell'ambito di questo evento, durante il convegno "LIFE BEEF CARBON: Conoscere e diffondere le esperienze delle aziende LOW CARBON", sono stati presentati i primi risultati relativi all'impronta di carbonio ottenuti a seguito dell'applicazione delle tecniche di mitigazione in alcune aziende da carne e quelli relativi alla fattibilità economica dell'applicazione delle stesse.



Un analogo incontro ha avuto luogo tra il 30 e il 31 gennaio 2020 presso l'azienda Le Capanne a Mozzecane (VR).

Il progetto LIFE BEEF CARBON è stato anche una occasione per sensibilizzare gli studenti delle scuole superiori alla tematica relativa alla riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra negli allevamenti zootecnici. Questo è stato possibile sia durante l'organizzazione del primo *open day* di progetto che è stato realizzato presso l'azienda agricola Nuova Annia a Lugugnana di Portogruaro (VE) il giorno 22 Novembre 2019, cui hanno partecipato due scolaresche provenienti dall'Istituto Superiore d'Istruzione "Leonardo da Vinci" di Portogruaro e dall'Istituto tecnico agrario "8 Marzo-K. Lorenz" di

Mirano, cui è seguita una lezione di approfondimento tecnico sulla valutazione dell'impatto ambientale nell'allevamento di bovini da carne tenuta dalla Dr.ssa Carè presso l'istituto superiore di Mirano.

Il secondo *open day* previsto nel progetto è stato realizzato in forma virtuale il 24 febbraio del 2021. In quell'occasione i ricercatori del CREA-ZA e due allevatori appartenenti alle associazioni UNICARVE del Veneto e ASPROCARNE del Piemonte, hanno spiegato il motivo per cui è stato proposto il progetto BEEF CARBON e l'obiettivo che si propone e hanno riportato i risultati ottenuti in Italia, dimostrando che è possibile ridurre le emissioni di gas serra negli allevamenti di bovini da carne del 10% in appena tre anni applicando alcune delle strategie di mitigazione individuate. Mentre i due allevatori hanno spiegato le tecniche di mitigazione applicate in azienda.

Nell'ambito dell'azione E5 del progetto LIFE BEEF CARBON sono stati organizzati gli incontri a livello europeo, chiamati "European networking", ai quali hanno partecipato gli altri partner impegnati in progetti che riguardano le emissioni di gas ad effetto serra negli allevamenti, esponenti della commissione europea e dei ministeri dell'ambiente e dell'agricoltura, ricercatori, associazioni di produttori, esponenti dell'industria di trasformazione, esponenti della FAO, ecc. allo scopo di creare un *network* europeo in cui si potessero diffondere le attività svolte e i risultati ottenuti grazie all'applicazione del BEEF CARBON ACTION PLAN.



In Italia, quest'incontro è stato organizzato dal CREA in collaborazione con l'EUROCARNE il primo febbraio 2018 in occasione della Fieragricola di Verona. All'incontro sono intervenuti il Dott. Teillard della FAO, Caroline Guinot dell'INTERBEV, il Dott. Sorlini responsabile Ambiente, Qualità e Sicurezza dell'INALCA e il Dott. Colomberotto amministratore delegato della Colomberotto S.p.a., che hanno fornito alcune testimonianze sul contrasto ai cambiamenti climatici e sulle iniziative avviate in questo settore dagli operatori del settore delle carni bovine. I ricercatori del CREA hanno poi partecipato agli altri quattro *European networking* che sono stati organizzati in Spagna e Francia nel 2019 e in Irlanda all'inizio del 2020.

L'azione E 6 prevedeva la realizzazione di due "National committee" e due "Regional committee".

La prima "National committee", dal titolo "Riduzione dell'impronta di carbonio dell'allevamento bovino da carne" si è tenuta l'8 novembre del 2018 nella Sala Cavour presso il Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali. Questo incontro è servito in primo luogo per indicare che l'esperienza accumulata nel progetto può essere utilizzata per altre produzioni zootecniche e per l'attuazione di politiche di sostegno al settore.

La seconda "National committee" dal titolo "Linee guida per la neutralità di carbonio negli allevamenti di bovini da carne" si è tenuta venerdì 5 Novembre 2021 nell'ambito della Fiera Agricola Zootecnica Italiana di Montichiari. Durante l'incontro i relatori hanno presentato le principali strategie di mitigazione che possono essere applicate nell'allevamento del bovino da carne per sviluppare dei sistemi di allevamento innovativi che migliorano la sostenibilità tecnica, economica, ambientale e sociale delle aziende da carne, dimostrando

che l'adozione di questi sistemi di allevamento può rendere compatibile l'attività zootecnica con gli obiettivi generali di lotta ai cambiamenti climatici e consentire alle aziende zootecniche di contribuire in modo significativo alla "Farm to Fork Strategy", per il raggiungimento della neutralità di carbonio nel 2050, come riportato nel New Green Deal europeo. Hanno inoltre confermato che è possibile ridurre le emissioni di gas serra negli allevamenti di bovini da carne del 10% in appena tre anni, applicando una o più strategie di mitigazione e che il miglioramento delle prestazioni produttive è il fattore chiave per ridurre l'intensità di emissione. Inoltre, hanno evidenziato che l'adozione di queste strategie di mitigazione pur apportando un miglioramento delle performance ambientali, non è sempre economicamente sostenibile ed è proprio per questo che l'istituzione pubblica dovrebbe intervenire con opportuni programmi per sostenere il reddito degli allevatori e favorire la diffusione delle buone pratiche per la riduzione delle emissioni.



Mentre, la prima "Regional committee" si è tenuta il 29 gennaio 2020 presso la Sala Energy forum della Fieragricola di Verona. L'obiettivo dell'incontro è stato quello di descrivere le strategie di riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra che si possono applicare nell'allevamento del bovino da carne e i risultati che si possono ottenere affinché queste possano essere prese in considerazione nella programmazione e nell'attuazione della nuova PAC, cercando di conciliare l'obiettivo della riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra e dell'impatto ambientale in generale, con i risultati economici di un

settore estremamente importante per la zootecnia italiana.

All'evento hanno partecipato il Prof. Trestini dell'Università di Padova, due aziende innovative che aderivano al progetto: l'azienda agricola Corte Gemma e Moderna di Panero che hanno portato la loro testimonianza; e due scolaresche provenienti dall'Istituto tecnico agrario "8 MARZO-K.LORENZ" di Mirano (VE) e dall'Istituto Superiore d'Istruzione "Leonardo da Vinci" di Portogruaro (VE) che hanno illustrato un esempio di valutazione dell'impronta di carbonio eseguita presso una delle aziende agricole aderenti al progetto e i risultati di un sondaggio finalizzato alla conoscenza delle opinioni degli intervistati sul consumo di carne ed emissioni di anidride carbonica prodotte dall'allevamento bovino, compresa la loro potenziale propensione a spendere di più per una carne bovina prodotta negli allevamenti da ingrasso italiani con metodi meno impattanti dal punto di vista ambientale.

La seconda "Regional committee" si è tenuta lunedì 28 giugno 2021 presso il Salone delle Feste dell'Hotel Crowne Plaza a Padova. In apertura Giacomo Pirlo del CREA-ZA ha presentato alcuni aspetti di criticità del settore zootecnico (in particolare quello della carne bovina), ma ha anche mostrato come questo settore può svolgere un ruolo positivo nella lotta ai cambiamenti climatici. Successivamente Luciano Migliorati del CREA-ZA, dopo aver descritto il progetto e gli obiettivi, ha illustrato le strategie di riduzione delle emissioni di gas serra degli allevamenti di bovini da carne che hanno aderito all'iniziativa ed ha presentato i risultati conseguiti. L'intervento successivo è stato tenuto dalla Dottoressa Ferrarese del CSQA che ha affrontato il tema della certificazione della sostenibilità, a seguire Samuele Trestini dell'Università di Padova ha illustrato le nuove regole della prossima Politica Comunitaria, mentre Giuliano Marchesin Direttore dell'Unicarve ha presentato il piano d'azione per la Zootecnia bovina da carne.

Infine, come previsto nell'azione E8 sono stati organizzati i due seminari finali. Il primo si è tenuto il 24 novembre 2021 a Bruxelles, presso la sede della COPA-COGECA. I relatori sono stati Thomas Sanchez, consulente politico presso COPA COGECA, che ha aperto il seminario e delineato la politica europea per affrontare i cambiamenti climatici. Di seguito è stato presentato il progetto. Il primo intervento è stato quello di Josselin Andurand dell'Idele project manager del progetto che ha presentato i risultati finali dopo 6 anni di attività. Successivamente, un rappresentante di ogni paese partner ha esposto le ulteriori iniziative nazionali per la riduzione delle emissioni nel settore carne bovina che sono state intraprese. A seguire, il coordinatore del progetto Jean-Baptiste Dollè dell'Idele, ha spiegato le iniziative in corso sul carbonio nel settore allevamento a livello europeo. Infine, un rappresentante della catena McDonald's ha spiegato le iniziative in corso per ridurre l'impronta di carbonio della carne bovina in Francia mentre un rappresentante dell'Interbev ha concluso gli interventi. Questa giornata, ha permesso non solo di conoscere i risultati analitici, ma anche le linee guida di lavoro a livello nazionale per promuovere dei sistemi di allevamento innovativi che consentiranno di migliorare la sostenibilità tecnica, economica, ambientale e sociale degli

allevamenti bovini da carne nei prossimi anni. L'adozione di questi sistemi di allevamento potrà così rendere compatibile l'attività zootecnica con gli obiettivi generali di lotta ai cambiamenti climatici. È emerso che la riduzione del carbon footprint della carne prodotta viene ottenuta mediante l'applicazione di una serie di misure di mitigazione che riguardano il miglioramento genetico, il benessere animale, l'alimentazione, la gestione dei reflui zootecnici, la fertilizzazione, il comparto energetico e il sequestro di carbonio. Andurand ha mostrato che è possibile ottenere una riduzione media dell'impronta di carbonio del 13% per le aziende da carne che hanno applicato 1 o più strategie di mitigazione individuate nel progetto. Ha inoltre spiegato che la maggior parte di questo miglioramento è dovuto all'incremento dell'efficienza tecnica, ma ha avvertito che questa strategia da sola sarebbe insufficiente per soddisfare gli impegni di riduzione di carbonio nel medio termine. Ha continuato spiegando che nel corso del progetto sono state individuate più di 40 strategie per mitigare le emissioni di carbonio. Molte strategie individuate, riducono le emissioni migliorando il sequestro di carbonio nel suolo e nella vegetazione. Il relatore ha continuato indicando che questo processo biologico potrebbe compensare l'impronta di carbonio della carne fino al 20%.

Il secondo seminario finale si è tenuto il 27 gennaio 2022 in forma virtuale. Durante l'evento i ricercatori del CREA-ZA hanno riportato i risultati e le conclusioni di sei anni di attività tenutesi in Italia ed hanno presentato le tecniche di mitigazione, che sono riportate nelle **Linee guida**, per la riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra dagli allevamenti di bovini da carne. A seguire i ricercatori del CREA-PB hanno presentato come potrebbero essere utilizzati i risultati del progetto *BEEF CARBON* per la prossima programmazione della PAC.

L'attività del progetto *LIFE BEEF CARBON* è stata presentata in diversi incontri non compresi nelle azioni del progetto. Tra questi si ricordano:

- la visita di un gruppo di giovani allevatori e ricercatori provenienti da Colombia, Egitto, Nuova Zelanda, Sud Africa e Uruguay nell'ambito del *Global Research Alliance - World Farmers Organization (GRA-WFO) Study Tour and Fellowship Programme* all'azienda sperimentale del CREA-ZA di Tor Mancina (Roma) il 17 ottobre del 2017;
- la ventitreesima Conferenza annuale delle Nazioni Unite sui Cambiamenti climatici (COP23) nel quadro della *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)* il 10 novembre del 2017;
- il *Livestock Research Group Meeting 2017* che si è tenuto presso il *USDA National Institute of Food & Agriculture (NIFA) Waterfront Centre a Washington* dall'11 al 12 aprile 2017;
- la *7th GGAA-Greenhouse Gas and Animal Agriculture Conference* che si è tenuta a Iguassu Falls in Brasile dal 4 all'8 agosto 2019;
- i meeting annuali dell'EAAP (2018, 2019, 2020 e 2021) e quelli dell'ASPA (2017, 2019, 2021);
- l'incontro tecnico che si è avuto presso l'Associazione Italiana Allevatori il 16 aprile 2018 e il convegno "Allevamento al pascolo e agroecologia" che si è tenuto a Roma presso la Città dell'Altraeconomia il 9 Giugno 2019.

Tutte le attività svolte e i risultati ottenuti con il progetto *LIFE BEEF CARBON* sono stati divulgati tramite la redazione di numerose pubblicazioni scientifiche, preparazione di materiale e opuscoli da distribuire, aggiornamento del sito web CREA del progetto (<http://lifebeefcarbon.crea.gov.it/>) e di quelli di UNICARVE (<http://www.unicarve.it/attivita/ricerca-e-sperimentazione/beef-carbon/>) e di ASPROCARNE (<http://www.asprocarne.com/cgi-bin/archivio/Atti-convegno--Progetto-life-beef-carbon-come-ridurre-l-impatto-di-carbonio-nell-allevamento-del-bovino-da-carne--Carmagnola-04-Dicembre-18--320.asp>, <http://www.asprocarne.com/cgi-bin/archivio/PROGETTO-BEEF-CARBON-299.asp>; <http://www.asprocarne.com/cgi-bin/archivio/Incontro--LIFE-BEEF-CARBON--1-FEBBRAIO-2018-260.asp>); della pagina Facebook del progetto e del canale Youtube.

## CAPITOLO 5: La valutazione dell'impatto ambientale nell'allevamento di bovini da carne: CAP2ER®



La valutazione dell'impatto ambientale negli allevamenti di bovini da carne italiani è stata eseguita utilizzando il modello di calcolo "Calcul Automatisé des Performances Environnementales en Elevage de Ruminants" (CAP'2ER®) sviluppato in Francia presso l'Institut de l'Elevage (Gac et al. 2010; IDELE 2018). Tale scelta è

stata determinata da due fatti: il primo è che questo metodo, pur facendo riferimento al sistema produttivo francese, si è dimostrato adatto al monitoraggio degli allevamenti italiani (Boselli, 2015); il secondo è che nel nostro Paese non è presente un modello di calcolo condiviso a livello nazionale delle emissioni di gas ad effetto serra degli allevamenti. Il sistema di calcolo CAP'2ER® è conforme alle norme ISO 14040 e 14044 del 2006 ed è stato accreditato in Francia dall'Ecocert Environment, organismo di controllo e certificazione che si occupa della certificazione dell'impatto ambientale di prodotti biologici.

Questa metodologia di calcolo è utilizzata per la valutazione dell'impatto ambientale e del contributo al mantenimento della biodiversità negli allevamenti di bovini da latte, bovini da carne e allevamenti di pecore. Il software si compone di due livelli di analisi: il Niveau 1 e il Niveau 2 che si distinguono per il livello di complessità dei dati richiesti e dell'analisi che viene eseguita. Il Niveau 1 è uno strumento di calcolo semplificato, scaricabile gratuitamente da internet, che si propone di sensibilizzare gli allevatori al rispetto dell'impatto ambientale dando un risultato rapido. Il Niveau 2 si basa invece su una metodologia di calcolo più complessa, che permette anche di impostare dei piani di mitigazione al fine di ridurre l'impatto ambientale aumentando il contributo positivo che può dare l'allevamento.

Lo strumento di calcolo richiede la raccolta di una serie di dati tecnici dell'azienda utilizzando un questionario che è stato messo a punto presso il Centro di ricerca Zootecnia e Acquacoltura del CREA di Lodi e che riguardano: la descrizione generale dell'allevamento, la superficie aziendale, la consistenza di stalla ad inizio e fine dell'anno, la razza, le prestazioni produttive dell'azienda, il piano colturale, la modalità di stabulazione degli animali, il tipo di allevamento (allevamento da latte, ingrasso specializzato o linea vacca vitello), la composizione della dieta distribuita ad ogni capo, la concimazione minerale e organica, le lavorazioni del terreno, la presenza di impianti per la produzione di energia rinnovabile (impianto di gestione anaerobica o pannelli fotovoltaici).

Per rispondere ai criteri dell'analisi LCA, la metodologia di calcolo considera come confini del sistema il classico "cradle-to farm-gate" ovvero dalla "culla al cancello dell'azienda" e adotta come unità funzionale un kg di peso vivo prodotto. All'interno del sistema vengono calcolate le seguenti categorie d'impatto: il riscaldamento globale (kg CO<sub>2</sub>eq/kg PV prodotto), l'acidificazione (kg SO<sub>2</sub>eq/kg PV prodotto), l'eutrofizzazione (kg PO<sub>3</sub><sup>-4</sup>eq/kg PV prodotto), consumo di energia fossile (MJ), il contributo al mantenimento della biodiversità e il sequestro del carbonio.

Nel modello di calcolo sono considerate quattro tipologie di indicatori: gli "indicatori tecnici", gli "indicatori calcolati dal sistema", gli "indicatori di emissione" e gli "indicatori d'impatto". Gli indicatori tecnici sono quelli descritti in precedenza; gli indicatori calcolati sono dei valori intermedi che servono per stimare alcuni parametri necessari per il calcolo delle categorie d'impatto; gli indicatori di emissione rappresentano la quantità di ogni fonte emissiva che viene considerata nel modello di calcolo. Gli indicatori d'impatto sono i fattori di caratterizzazione della Tabella 1. Le emissioni sono state determinate utilizzando per ciascuna di esse un fattore di emissione. La scelta di questo fattore è stata effettuata utilizzando tre criteri:

**Tier 1:** è un approccio semplificato basato sulla scelta di fattori di emissione derivanti dalla letteratura e che non sono specifici del paese in cui viene fatta l'analisi;

**Tier 2:** è un approccio più specifico perché considera i fattori di emissione del paese in cui viene fatta l'analisi;

**Tier 3:** richiede molti dati sperimentali relativi al sistema produttivo oggetto dell'analisi ambientale tenendo conto di vari fattori quali ambiente, stato fisiologico dell'animale, alimentazione, sistema di stabulazione.



Nel modello di calcolo CAP'2ER® il fattore di emissione relativo al calcolo del metano (CH<sub>4</sub>) enterico, che è la fonte più importante per i ruminanti, è calcolato applicando il Tier 3 dell'IPCC ed utilizza l'equazione riportata da Sauvant e Nozière (2013), che tiene conto della sostanza organica digerita da ciascun animale presente in allevamento calcolata partendo dalla sostanza secca ingerita e dalla quantità di concentrato presente nella razione.

La stima del CH<sub>4</sub> derivante dalla gestione e dallo stoccaggio delle deiezioni e dal pascolo è calcolata applicando il Tier 2 dell'IPCC (2006). In questo caso, la formula utilizzata per il calcolo di queste emissioni tiene conto della sostanza organica non digerita, del potenziale metanigeno di ciascun alimento ingerito dall'animale, della modalità di stabulazione degli animali e della temperatura media annuale rilevata nell'area geografica in cui è situata l'azienda.

Le emissioni di N<sub>2</sub>O, derivanti dalla gestione e dallo stoccaggio delle deiezioni, sono calcolate partendo dall'azoto escreto di ogni categoria zootecnica presente in allevamento, che è condizionato sia dalla qualità dei foraggi e dei concentrati che sono ingeriti dalle diverse categorie di animali sia dalla modalità di stabulazione e, di conseguenza, dalla tipologia di refluo che viene prodotta applicando il Tier 2 dell'IPCC (2006) e quello riportato nell'EMEP CORINAIR (2013).

L'N<sub>2</sub>O derivante sia dallo spandimento delle deiezioni sia dall'utilizzo di fertilizzanti azotati di sintesi è calcolato applicando il Tier 1 dell'IPCC (2006) e tiene conto delle tecniche di spandimento, della temperatura e della quantità di azoto minerale distribuita sulla superficie dell'azienda.

Le emissioni di CO<sub>2</sub> sono quelle dirette e quelle indirette. Le prime derivano dalla combustione dei carburanti fossili utilizzati nelle lavorazioni colturali. Le seconde sono quelle conseguenti alla produzione degli input che entrano in azienda necessari alla produzione del kg di peso vivo (animali acquistati, alimenti e paglia, fertilizzanti, minerali, pesticidi, sementi). Queste emissioni sono calcolate applicando il Tier 2 dell'IPCC (2006) utilizzando come fattori di emissione quelli riportati nei database Terre version 3.45 (2014), Agrybalyse version 1.1 (2014) e BDD RMT Elevage et Environnement de 2012 (SimaPro).

Le emissioni di gas ad effetto serra di ogni azienda sono calcolate tenendo conto del CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> prodotti in azienda. Il contributo di questi gas al riscaldamento globale è stato espresso in base al loro *Global Warming Potential* che è riferito ad 1 kg di CO<sub>2</sub> eq ed è pari a 25 kg di CO<sub>2</sub> eq per il CH<sub>4</sub> e a 298 kg di CO<sub>2</sub> equivalente per il N<sub>2</sub>O (IPCC, 2006).

Il sequestro di carbonio è calcolato utilizzando i seguenti fattori tipici della realtà produttiva francese: 570 kg di C/ha anno per i prati permanenti (Sosussana et al., 2010), 250 kg di C/ha per anno per le superfici pastorali (pascoli di montagna) (GES'TIM, 2010), 160 kg di C/ha per anno per le altre colture (Dollè et al., 2013), 125 kg C/100 ml/an per le siepi (Arrouays, et al., 2002) e - 950 kg C/ha/anno per le rotazioni senza prati (Dollè et al., 2013); nel calcolo è considerata anche la presenza di siepi e altri elementi agro-ecologici.

Il contributo alla emissione di gas serra, definito come impronta di carbonio, della produzione di carne bovina è stato calcolato in ogni azienda aderente al progetto come differenza tra le emissioni di gas ad effetto serra e il sequestro di carbonio.

Nel modello di calcolo sono determinate altre categorie d'impatto: l'acidificazione, l'eutrofizzazione e il contributo al mantenimento della biodiversità.

L'acidificazione dell'aria è calcolata applicando la metodologia CML del 2001 che considera tre gas principali: l'ammoniaca (NH<sub>3</sub>), il monossido di azoto (NO), l'anidride solforosa (SO<sub>2</sub>) che derivano dalla modalità di gestione delle deiezioni e si producono durante lo spandimento del refluo, l'utilizzo del fertilizzante azotato minerale e a seguito del consumo di energia diretta e indiretta.

L'eutrofizzazione dell'acqua tiene conto delle perdite di azoto (azoto lisciviato) come nitrati (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), le perdite di fosforo (fosforo ruscellato), la rideposizione dell'azoto ammoniacale e il monossido di azoto (NO) ed è calcolata applicando la metodologia CML del 2001.

Il contributo al mantenimento della biodiversità è calcolato attribuendo ad ogni superficie agro-ecologica considerata nel modello di calcolo un coefficiente d'equivalenza definito all'interno del BCAE VII (*Bonne Conditions Agricoles et Environnementales*) francese (MAAF, 2012).

Nella prossima versione del CAP'2ER® si terrà conto di tutte le specificità nazionali.

## CAPITOLO 6: Le principali strategie di mitigazione applicate nelle aziende

E' ormai opinione diffusa che il modo più efficace per limitare i gas serra prodotti nell'allevamento del bovino da carne è quello di migliorare la produttività aziendale mantenendo la competitività economica; questo aumento può essere ottenuto riducendo tutte le cause di inefficienza rappresentate da elevata mortalità, accrescimento al di sotto delle potenzialità del tipo genetico, elevato indice di conversione degli alimenti, unito ad un non ottimale stato di salute e benessere degli animali e utilizzando in modo più efficiente tutte le risorse che sono necessarie per la produzione di carne (Pulina et al., 2021).

Nell'ambito del progetto *LIFE BEEF CARBON* sono state individuate a livello europeo le principali strategie di mitigazione che possono essere applicate all'allevamento bovino da carne e che hanno portato alla costituzione del "Piano d'azione nazionale per la riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra negli allevamenti di bovini da carne (*BEEF CARBON ACTION PLAN*)". Il Piano ha mostrato che ognuna di queste strategie ha un effetto sulla produzione di CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> e sulla riduzione del carbon footprint della carne bovina che varia da <1% al 15% (Tabella 2).

Secondo Chiriaco e Valentini (2021) le strategie di mitigazione si possono suddividere in tre categorie:

- a. quelle che riducono le emissioni di gas ad effetto serra, attraverso pratiche e soluzioni innovative che migliorano l'efficienza di utilizzazione degli alimenti, modificano alcuni processi metabolici-digestivi o intervengono sulla dispersione dei gas dalle stalle, dai depositi delle deiezioni e dai campi;
- b. quelle che favoriscono l'assorbimento di carbonio e consistono nella adozione di pratiche che determinano la cattura del carbonio nel terreno o nella biomassa;
- c. quelle che permettono di evitare le emissioni e riguardano in particolare la produzione di energia da fonti rinnovabili in sostituzione dei combustibili fossili.

In generale, le strategie di mitigazione che determinano un miglioramento delle performance produttive degli animali e quelle che modificano la dieta hanno un potenziale di mitigazione più elevato. Seguono quelle che comportano una modifica dell'utilizzo del suolo e che favoriscono l'accumulo di carbonio nel terreno. Il potenziale di mitigazione delle strategie che comportano un utilizzo più efficiente dei reflui zootecnici è relativamente basso, mentre il contributo derivante dalla produzione di energia da fonti rinnovabili dipende dalle dimensioni degli impianti rispetto a quelle dell'allevamento.

Nel capitolo successivo saranno illustrate nel dettaglio le strategie di mitigazione che fanno parte del *BEEF CARBON ACTION PLAN* italiano costituendo così le **linee guida** per la riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra dagli allevamenti di bovini da carne. Solo parte delle strategie descritte di seguito sono state adottate dagli allevamenti innovativi che hanno partecipato al progetto.

Tabella 2. Effetto delle strategie di mitigazione sulle emissioni di gas ad effetto serra (GHG) e sull'impronta di carbonio netta nell'allevamento bovino da carne espresso come emissioni di CO<sub>2</sub>eq/kg di incremento di peso vivo (O'Brien et al., 2020).

Strategie di mitigazione	Gas ad effetto serra			Riduzione dell'impronta di carbonio netta
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	
<b>Prestazioni degli animali</b>				
Aumento dell'incremento di peso giornaliero	+/-	-	-	-3 -10%
Abbassamento dell'età di macellazione	+/-	-	-	-5 -10%
Miglioramento dello stato di salute degli animali	-	-	-	-5 -15%
Ottimizzazione dell'età al primo parto (ad es. 24 mesi)	-	-	-	-5 -10%
Ottimizzazione del tasso di riproduzione	-	-	-	-5 -10%
Miglioramento genetico	-	-	-	-2 -10%
<b>Dieta degli animali</b>				
Miglioramento del sistema produttivo	-	-	+	-3 -10%
Miglioramento della qualità dei foraggi	+/-	-	-	-3 -8%
Aumento della quota di concentrati	+	-	+/-	-15 +20%?
Ottimizzazione del contenuto di proteina	-	+/-	-	-3 -8%
Sostituzione della farina di soia con proteine con CFP inferiore	-	+/-	+/-	-3 -15%?
Additivi (grassi, lieviti, nitrati ecc.)	+/-	-	+/-	-15 +5%?
<b>Fertilità del suolo e fertilizzanti azotati</b>				
Aumento del pH con la calcitazione	+	-	-	-2 -5%
Ottimizzare i livelli di N, P e K nel suolo	+	-	-	0 -5%
Applicare tecniche di agricoltura di precisione (ad es. GPS)	-	+/-	-	-2 -5%?
Leguminose da sovescio	-	-	-	-2 -10%
Sostituzione del carbonato d'ammonio con l'urea	+/-	+/-	-	-2 -5%
<b>Stoccaggio e gestione delle deiezioni</b>				
Allungamento del periodo di pascolamento	-	+/-	+	-3 -8%
Digestione anaerobica	+/-	-	-	-3 -10%
Ventilazione	+/-	-	+/-	0 -5%?
Compostaggio	+/-	-	+/-	-2 -5%
Copertura delle vasche di stoccaggio	+/-	-	+/-	-2 -5%
Conservazione del letame su un pavimento solido impermeabile dotato di un sistema di drenaggio	+/-	+/-	-	0 -3%
Installazione di ventilatori per ridurre il consumo di paglia	-	+/-	+/-	0 -1%
Sistemi di depurazione dell'aria (es. Scrubber)	+	+/-	-	0 -5%
<b>Trattamento delle deiezioni</b>				
Inibitori della nitrificazione	+/-	+/-	-	0 -5%?
Inibitori dell'ureasi	+/-	+/-	-	0 -5%?
Acidificazione delle deiezioni	+/-	-	+/-	0 -5%?
Separazione tra fase liquida e solida	+/-	-	+/-	0 -5%?
Sostituzione della lettiera permanente con il grigliato	+/-	+/-	-	-2 -5%
Rapida incorporazione del liquame nel terreno				0% -1%
<b>Energia</b>				
Aumento dell'energia rinnovabile	-	+/-	+/-	-1 -2%?
Illuminazione a basso consumo energetico	-	+/-	+/-	0 -1%

Strategie di mitigazione	Gas ad effetto serra			Riduzione dell'impronta di carbonio netta
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	
Dimensionare la potenza dei trattori in funzione del lavoro da svolgere in campo	-	+/-	+/-	-1 -2%
<b>Sequestro del carbonio</b>				
Mantenimento o aumento dell'area destinata a prato permanente	-	+/-	+/-	-3 to -10%
Mantenimento o piantumazione di siepi o rimboschimento	-	+/-	+/-	-3 to -10%
Minime lavorazioni	-	+/-	-	0 to -5%

## 6.1. Miglioramento delle prestazioni mediante il miglioramento genetico

La quantità di CO<sub>2</sub> associata al chilogrammo di incremento di peso è tanto più bassa quanto più questo ultimo è elevato a parità di peso corporeo e quanto più giovane è l'animale al momento della macellazione. Questi parametri non sono sotto il completo controllo dell'allevatore, il quale può comunque scegliere il tipo di animali più performanti, in funzione della disponibilità di soggetti da rimonta e della categoria di prodotto. Negli ultimi decenni l'impronta di carbonio è molto diminuita. Capper (2011) ha mostrato che tra il 1977 e il 2007 la produzione di carne negli USA è aumentata del 12% mentre l'emissione associata di gas climalteranti si è ridotta del 16%. Ciò è avvenuto grazie al fatto che migliorata l'efficienza dell'utilizzazione degli alimenti somministrati agli animali e dell'uso dell'energia necessaria per le varie operazioni di campagna e di stalla. L'efficienza alimentare degli animali da carne può essere rappresentata dall'indice di conversione, che è la quantità di mangime (variamente espressa) necessaria per produrre un chilogrammo di carne. Ultimamente la selezione genetica ai fini del miglioramento dell'efficienza alimentare utilizza il "Residuo dell'alimento ingerito" (RFI), ossia la quantità di alimento ingerita in meno rispetto a quanto atteso in base all'incremento di peso fatto registrare. Gli animali con un residuo elevato sono i più efficienti. Questo parametro ha un valore di ereditabilità compreso tra 0,16 e 0,43, che può essere considerato moderatamente elevato, dimostrando che è possibile selezionare animali efficienti a prescindere dalla loro capacità di accrescimento (Terry et al., 2021).

## 6.2. Alimentazione

La quantità e la qualità dei foraggi e dei mangimi e il modo con cui sono somministrati agli animali può influenzare in misura molto significativa l'emissione sia di CH<sub>4</sub> sia di N<sub>2</sub>O.

È importante sottolineare che l'obiettivo non è ridurre in assoluto la quantità di gas ad effetto serra emessi bensì il loro rapporto con la produzione. Il rapporto tra gas emessi e produzione è definito "**intensità di emissione**" che nel caso della carne può essere espressa come kg di CO<sub>2</sub>eq per kg di peso vivo, oppure kg di carne edibile o di proteina.

I bovini da carne emettono grandi quantità di CH<sub>4</sub>, che in gran parte deriva dalla fermentazione dei foraggi che avviene nel tratto digestivo e per tale motivo questa frazione viene chiamata "metano enterico". Nel caso dei ruminanti, il 90% circa del CH<sub>4</sub> enterico è prodotto nel rumine e viene espulso attraverso la bocca e il naso. La quantità di gas prodotto dipende da vari fattori, quali la specie, l'età e il peso dell'animale, il tipo di alimentazione, la qualità e quantità degli alimenti.

L'alimentazione influenza anche le emissioni di N<sub>2</sub>O. Queste avvengono con le deiezioni depositate in stalla o nei depositi o dopo lo spargimento al terreno. L'N<sub>2</sub>O si genera a partire dai composti azotati presenti nelle feci e nelle urine, la cui concentrazione dipende tra l'altro dalla quantità di proteine somministrate all'animale e dall'efficienza con cui questo le riesce a trasformarle in carne o latte.

Di seguito viene riportata una sintetica descrizione dei processi di formazione del CH<sub>4</sub> enterico, cui segue l'illustrazione delle strategie alimentari che possono mitigare le emissioni di questo gas e dell'N<sub>2</sub>O.

## Metanogenesi

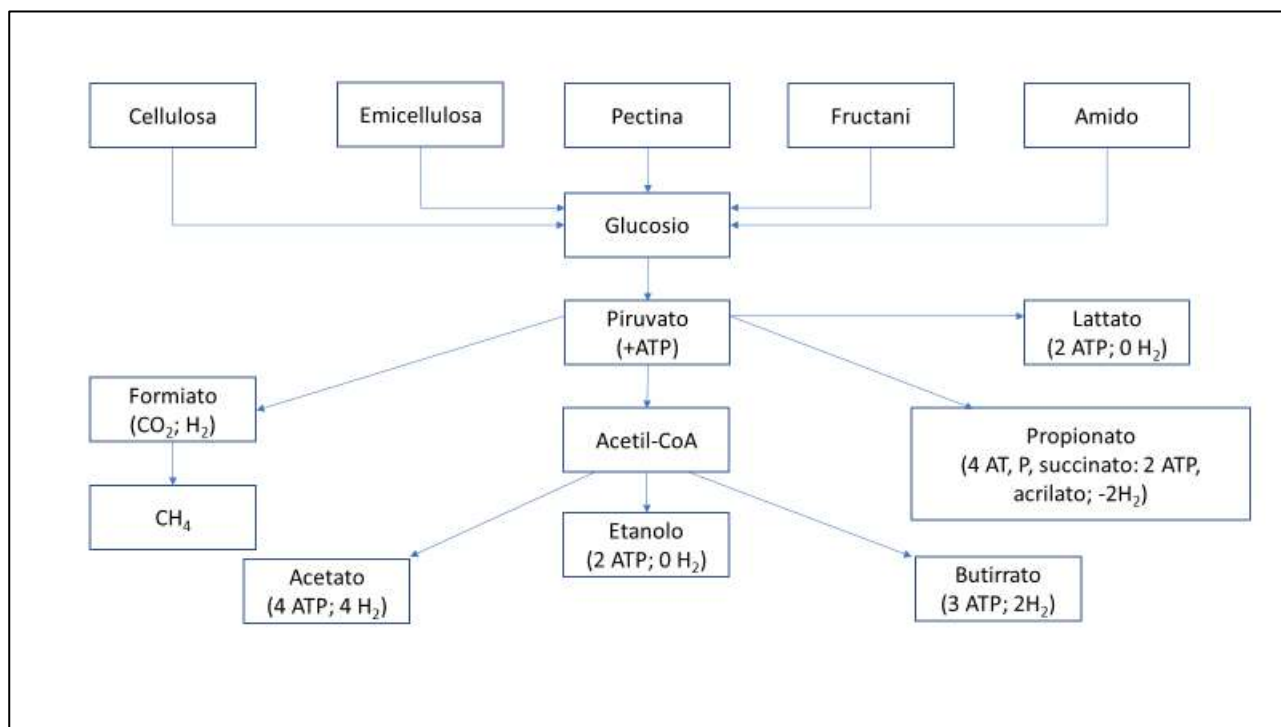
Nel rumine parte della comunità microbica è impegnata a degradare il materiale vegetale per ricavare energia, azoto e carbonio per la propria crescita; i carboidrati vengono fermentati, i lipidi e le proteine sono idrolizzati. La maggior parte degli alimenti ingeriti dai ruminanti ha un elevato contenuto in carboidrati strutturali (cellulose ed emicellulose), i quali possono essere utilizzati dagli animali grazie all'azione di questi microrganismi capaci di degradare tali sostanze e trasformarle in altre che l'animale può assorbire. Gli stessi microrganismi diventano poi alimenti per l'animale.

Il  $\text{CH}_4$  viene prodotto attraverso successivi passaggi a carico di differenti gruppi batterici in ambiente anaerobico (Figura 8). Dapprima substrati complessi (cellulosa, emicellulosa, pectine, amidi) vengono idrolizzati in composti più semplici quali i mono- e oligosaccaridi. Queste molecole fungono da substrato per l'alimentazione e il metabolismo di gruppi batterici acidogeni, con la produzione di acidi grassi volatili (AGV) a corta catena (propionato, acetato, butirrato, formiato), biossido di carbonio ( $\text{CO}_2$ ), idrogeno (H) e alcoli (etanolo).

A questo punto inizia l'ultima fase, attraverso la quale i gruppi batterici metanogeni concludono il processo di metanogenesi. I microrganismi metanogeni sono distinti in due classi, in base al substrato impiegato come accettore di elettroni: i metanogeni acetoclastici, che producono metano a partire dall'acido acetico, e i metanogeni idrogenotrofi che utilizzano come substrato la  $\text{CO}_2$  e l' $\text{H}_2$  (Conrad, 2020). Questi ultimi sono i più importanti: utilizzano l'H come fonte di energia, lo combinano con la  $\text{CO}_2$  formando  $\text{CH}_4$ , che viene poi eruttato. Pertanto, la metanogenesi è la principale via biochimica per la rimozione dell'H metabolico rilasciato dalla fermentazione dei carboidrati nel rumine. Nella figura 8 si nota che la proporzione con cui sono prodotti i tre AGV più importanti (acetato, butirrato e propionato) influenza la sintesi di  $\text{CH}_4$ ; infatti, alla produzione di una molecola di acetato e butirrato è associata la produzione di 4 e 2 molecole di  $\text{H}_2$ , mentre la produzione di una molecola di propionato comporta l'assorbimento di 2 molecole di  $\text{H}_2$ .

Il principale fattore che influenza la produzione di  $\text{CH}_4$  è la quantità di alimento ingerito. Il secondo in ordine di importanza è la composizione della dieta. L'impiego di diete ricche di carboidrati strutturali (cellulosa, emicellulosa), tipico delle razioni a base di foraggio, sono associate ad una maggiore produzione di  $\text{CH}_4$  rispetto a diete miste, contenenti livelli più elevati di carboidrati non strutturali, ossia amido e zuccheri solubili (Sauvant e Giger-Reverdin, 2009). Questo è spiegato dalle diverse fermentazioni subite dai due tipi di carboidrati che generano diversi AGV, che a loro volta producono maggiori o minori quantità di H metabolico (Hristov et al., 2013). I substrati che producono acido acetico e acido butirrico aumentano la disponibilità di H, mentre i substrati che producono acido propionico consumano H e, quindi, ne diminuiscono la disponibilità.

Figura 8. Schema sintetico del metabolismo dei carboidrati nel rumine (da van Soest 1994 e Russel e Wallace, 1997)



### Strategie per mitigare l'emissione di metano enterico

L'alimentazione del bovino è fondamentale per avere buone prestazioni economiche e ambientali. È importantissimo che l'alimentazione sia sana ed equilibrata, perché influisce sul benessere degli animali e sulla salute dell'uomo. Le diete impiegate negli allevamenti, grazie al supporto del personale tecnico specializzato, ormai sono ben formulate per soddisfare al meglio i fabbisogni nutritivi degli animali, in funzione della razza e dell'età, con l'obiettivo di massimizzare le prestazioni produttive e le rese.

Oggi però nella formulazione delle razioni bisogna tener conto anche degli aspetti ambientali e uno degli obiettivi che ci si pone è quello di ridurre la produzione di CH<sub>4</sub>, senza penalizzare le prestazioni degli animali. Pertanto, i tecnici e gli allevatori quando formulano la razione sono chiamati a mettere in atto tutte le possibili azioni per ridurre le emissioni di gas ad effetto serra, in particolare il CH<sub>4</sub> enterico, andando oltre la mera valutazione delle performance e dei costi di produzione.

Le strategie alimentari che possono ridurre la produzione di CH<sub>4</sub> enterico possono essere classificate in due categorie: 1. Miglioramento della qualità degli alimenti e modifica della dieta; 2. Utilizzo di sostanze che evitano o inibiscono la metanogenesi.

#### 1. Miglioramento della qualità degli alimenti e modifica della dieta

È stato detto in precedenza che l'elemento che più di ogni altro condiziona la produzione di CH<sub>4</sub> nel rumine è la quantità di alimento ingerito. Tuttavia, il fattore di conversione dell'energia grezza in CH<sub>4</sub> (Y<sub>m</sub>) può variare significativamente in base alla digeribilità dell'alimento; l'ISPRA (2008) ad esempio adotta un Y<sub>m</sub> di 4% per razioni molto digeribili rispetto a 6% che è il valore medio di riferimento. Ciò significa che quando si somministrano diete con molti cereali solo il 4% della energia contenuta negli alimenti si perde come CH<sub>4</sub>, la percentuale è del 6% quando la razione è mista e può arrivare all'8% e oltre con razioni molto fibrose e poco digeribili.

I foraggi sono gli ingredienti con la maggiore variabilità di composizione e digeribilità, che sono condizionate dalla specie vegetale, la varietà, il sistema di conservazione e la maturità alla raccolta.

La lignina si deposita con l'avanzamento della maturità rendendo meno digeribile la pianta. Anche la fibra aumenta ed anche questa frazione influenza la digeribilità. È noto, infatti, che le piante più giovani hanno un contenuto maggiore di zuccheri solubili e causano minori perdite di CH<sub>4</sub> con la digestione. Nella gestione della

produzione foraggera, quindi, bisogna trovare un equilibrio tra maturità e produzione di biomassa per non penalizzare né le rese alla raccolta né le prestazioni ambientali.

La riduzione delle emissioni di CH<sub>4</sub> da animali alimentati con diete a base di foraggio può essere ottenuta migliorandone la qualità. Nel caso dei prati, si possono ottimizzare i tempi di raccolta, oppure si possono utilizzare specie foraggere con un'alta digeribilità; si possono adottare sistemi di raccolta e conservazione che preservino al massimo il contenuto di nutrienti digeribili, ricorrendo all'insilamento con trattamento chimico o enzimatico del prodotto o riducendo la lunghezza di taglio del foraggio. Nel caso del pascolo, la gestione può essere migliorata ricorrendo, ad esempio, alla rotazione che permette di aumentare la disponibilità d'erba e di migliorarne la qualità (O'Brien et al., 2020).

Le emissioni di CH<sub>4</sub> enterico sono influenzate anche dal tipo di foraggio: il silomais rispetto al fieno è più ricco di amido e favorisce perciò la produzione di propionato, che assorbe H, a scapito del butirrato o l'acetato che invece comportano l'emissione di H, che poi viene utilizzato da batteri per produrre CH<sub>4</sub>. Le leguminose sono più digeribili, hanno un minor contenuto di fibra e una maggiore velocità di transito nel rumine delle graminacee e il loro utilizzo è associato a minori emissioni di CH<sub>4</sub> (Hristov et al., 2013).

Anche il tipo di concentrato e la sua lavorazione hanno importanza. La produzione di CH<sub>4</sub> enterico è minore se il concentrato è il frumento, aumenta con il mais e ancora di più con l'orzo (Beauchemin et al., 2005).

La produzione di CH<sub>4</sub> ruminale può essere influenzata anche dal rapporto tra foraggi e concentrati. In termini molto generali, diete con un basso rapporto tra foraggi e concentrati (35 - 40 % di foraggi) determinano una minore produzione di CH<sub>4</sub> perché sono più digeribili e perché le fermentazioni si orientano verso la produzione di propionato piuttosto che di acetato. Va detto però che la quota di foraggio non può andare al di sotto di certi limiti, per non determinare condizioni pericolose per l'animale come l'acidosi, e che aggirandosi attorno ai rapporti di 50-60% le differenze nelle emissioni non sono molto evidenti.

L'aumento della quota di concentrati si accompagna sovente ad un incremento della ingestione. Poiché i concentrati hanno una maggiore disponibilità di sostanza organica fermentescibile, i due elementi fanno sì che con l'aumento dei concentrati nella dieta si possa verificare un aumento della produzione di CH<sub>4</sub>. È però da ricordare che ciò che a noi interessa non è la produzione di CH<sub>4</sub> totale ma la quantità in riferimento alla produzione, per cui se all'aumento di CH<sub>4</sub> corrisponde un aumento più che proporzionale della produzione l'obiettivo è sostanzialmente raggiunto.

Per quanto riguarda i limiti di impiego di diete costituite quasi esclusivamente da concentrati, c'è l'esempio dei feed-lot americani; in questo caso l'Ym è di appena il 3%, però bisogna tener conto della brevità del periodo in cui questi animali sono tenuti con questa dieta. Negli altri casi bisogna considerare che una presenza di foraggi troppo bassa (ad esempio 40%) può danneggiare il rumine, la salute dell'animale e la produzione di latte o carne.

Ricordiamo inoltre che gli allevamenti estensivi sono spesso contraddistinti da diete molto fibrose e da bassi livelli produttivi, con il risultato che l'intensità di emissione è più alta. Questi sistemi però presentano alcuni vantaggi. Le maggiori emissioni di CH<sub>4</sub> possono essere compensate dal maggior assorbimento di carbonio nel suolo, rimuovendo così la CO<sub>2</sub> dall'atmosfera (Guyader et al., 2016). I sistemi di allevamento dei ruminanti allevati al pascolo forniscono anche molti altri benefici ecologici, come la conservazione della biodiversità, il miglioramento della salute del suolo, il miglioramento della qualità dell'acqua e il mantenimento di un habitat favorevole alla fauna selvatica (Guyader et al., 2016).

## *2. Utilizzo di sostanze che evitano o inibiscono la metanogenesi.*

In questa categoria sono comprese quelle sostanze alimentari specifiche che direttamente o indirettamente evitano o inibiscono la metanogenesi (Hristov et al., 2013). Alcune di queste strategie sono difficili da realizzare, oppure hanno un'efficacia limitata o sono ancora in fase sperimentale.

Numerosi studi hanno dimostrato che bassi livelli di integrazione lipidica nelle diete (meno del 4% della S.S. ingerita) possono ridurre la produzione di CH<sub>4</sub> aumentando la densità energetica delle diete. Alcuni studi indicano una diminuzione variabile dall'1% al 5% di CH<sub>4</sub> emesso per 10 g di grasso/kg S.S. (Grainger e Beauchemin, 2011; Patra, 2013). I lipidi riducono la metanogenesi perché vanno a sostituire la materia organica fermentabile ruminale nella dieta (Patra, 2013); inoltre la bioidrogenazione degli acidi grassi insaturi sottrae ioni H che potrebbero essere altrimenti usati per la sintesi di CH<sub>4</sub> (Nagaraja et al., 1997). Tuttavia, l'integrazione di lipidi è spesso costosa e può ridurre la digeribilità della fibra e l'ingestione di S.S., inibire la

fermentazione del rumine, deprimere la sintesi dei grassi del latte e alterare la composizione degli acidi grassi dei prodotti (Grainger e Beauchemin, 2011; Patra, 2013). Sebbene l'integrazione di lipidi possa essere implementata immediatamente negli allevamenti commerciali, nel complesso ha un potenziale da basso a moderato.

Composti vegetali, come olio essenziale, tannini, saponine, flavonoidi e composti organici contenenti lo zolfo, sono stati studiati per le loro proprietà anti-metanogeniche. Queste sostanze non agiscono direttamente sulla formazione del metano, ma determinano condizioni in cui questo processo è più difficoltoso (Honan et al., 2021). Uno degli studi più completi su questa materia è il progetto dell'UE "Rumen-up" che ha valutato gli effetti di 500 piante ed estratti vegetali sulla fermentazione in vitro e ne ha identificati almeno 25 che hanno una potenziale azione antimetanogenica. È stato anche dimostrato che numerosi oli essenziali (estratti ad esempio da aglio, timo, eucalipto, origano, cannella e rabarbaro) riducono la produzione di CH<sub>4</sub> in vitro, ma pochissimi composti hanno un effetto a lungo termine in vivo (Cobellis et al., 2016). La risposta del CH<sub>4</sub> alla somministrazione di tannini è molto variabile a seconda della fonte, del tipo e del peso molecolare dei tannini e della comunità metanogena presente nell'animale. I risultati di trenta esperimenti in vitro e in vivo hanno mostrato che livelli crescenti di tannini hanno ridotto la produzione di CH<sub>4</sub> espressa rispetto alla materia organica digeribile (Jayanegara et al., 2012). Inoltre, in alcuni studi hanno stimato buone risposte fino a un livello di 100 g di tannini/kg di S.S. Tuttavia, una delle principali limitazioni dei tannini è che a basse concentrazioni (<20 g/kg S.S. ingerita), tipiche di molti foraggi e integratori alimentari, le risposte di CH<sub>4</sub> sono molto variabili. Inoltre, parte della diminuzione di CH<sub>4</sub> dovuta ai tannini può essere causata da un concomitante declino della ingestione di S.S. e della digeribilità dei nutrienti.

Vi sono poi in natura, oppure possono essere sintetizzati, composti che inibiscono la metanogenesi. Alcune alghe concentrano florotannina e bromoformi, composti alogenati che inibiscono il coenzima M cobamide-dipendente durante la metanogenesi. La *Dyctyota* e l'*Asparagopsis* hanno un interessante potenziale di diminuzione della produzione di CH<sub>4</sub> (Machado et al., 2014). Non è tuttavia stato chiarito se l'effetto è persistente. Inoltre, considerate il tipo di sostanze che accumulano (in particolare bromoformio), deve essere ancora accertato se vi sono effetti avversi per l'animale, l'uomo e l'ambiente.

Il nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) è un recettore dello ione H<sup>+</sup> e per questo si è pensato alla sua utilizzazione per ridurre le emissioni di CH<sub>4</sub>. Tuttavia, i risultati ottenuti sinora non sono stati pari alle attese, inoltre si sono manifestati effetti collaterali, quali una possibile tossicità e il fatto che il nitrato può stimolare la produzione di N<sub>2</sub>O, riducendone così il potenziale mitigante.

Lo studio di composti di sintesi che riducono la produzione di CH<sub>4</sub> quando somministrati ai ruminanti è un'area di ricerca importante. L'approccio più comune è stato quello di utilizzare composti che inibiscono direttamente la metanogenesi. Tali composti devono ridurre le emissioni in modo persistente senza effetti tossici per animali, uomo e ambiente. Inoltre, devono essere a basso costo e non ridurre la produzione affinché possano essere adottati dai produttori. La maggior parte degli inibitori valutati può essere classificata come analoghi del CH<sub>4</sub> o analoghi del metil-coenzima M, un cofattore coinvolto nel trasferimento di metile durante la metanogenesi. Alcuni inibitori che sono stati valutati in vivo sono il tricloroacetamide, l'emiacetale di cloralio e amido, il cloralio idrato, il 9,10-antrachinone, il nitroetano, il 3-nitroossipropanolo (3-NOP) e il cloroformio (Ungerfeld, 2018). Alcuni di essi sono tossici, causano effetti collaterali indesiderati o hanno un'efficacia limitata nel tempo perché i microrganismi ruminali si adattano rapidamente. Fra i vari composti esaminati, il 3-nitroossipropanolo è il più promettente ed è attualmente in fase di valutazione per i bovini da latte e da carne per ottenere i permessi necessari per il suo impiego su larga scala. Secondo quanto riportato da Beauchemin et al. (2020) la produzione di CH<sub>4</sub> può diminuire dal 20% al 40% a seconda dell'animale, della composizione della dieta, della dose e del metodo di integrazione. Non sembra esserci un'assuefazione dell'animale alla somministrazione del composto e dopo la sospensione l'effetto sembra permanere. Il 3-NOP non sembra avere effetti collaterali riguardanti la produzione di latte e di carne, l'ambiente, la salute dell'animale e dell'uomo. Più specificatamente per la produzione di carne, un recente studio ha evidenziato una riduzione del 76% delle emissioni di CH<sub>4</sub> con la somministrazione di 125 mg/kg di sostanza secca ingerita da parte di manzi in fase di finissaggio alimentati con una dieta a base di mais (Alemu et al., 2021).



Vi sono poi altre strategie che potrebbero permettere una riduzione delle emissioni di CH<sub>4</sub> ma richiedono ancora molta ricerca. Tra queste le più importanti sono la programmazione delle prime fasi di vita e la vaccinazione.

La prima consiste nell'orientare le fermentazioni del rumine verso la produzione di propionato sin dalle prime fasi di vita. L'idea parte dall'osservazione che questo condizionamento persiste nel tempo (Yáñez-Ruiz et al., 2015). La seconda si basa sulla possibilità di indurre il sistema immunitario dell'animale a produrre nella saliva anticorpi che nel rumine sopprimono i microrganismi metanogeni (Subharat et al., 2016).

### **Proteina nella dieta**

L'alimentazione può influenzare anche l'emissione di N<sub>2</sub>O e di NH<sub>3</sub>, perché la proteina che non viene utilizzata dall'animale per produrre carne o latte si ritrova nelle feci o nelle urine. Il contrasto alle emissioni di N<sub>2</sub>O e di NH<sub>3</sub> inizia con la somministrazione delle esatte quantità di proteina di cui l'animale ha bisogno. Il fabbisogno di proteina per un toro da carne di oltre 300 kilogrammi si aggira tra l'11,5 e il 13% della sostanza secca. Un apporto eccessivo o carente comporta inevitabilmente una perdita di efficienza nell'uso della proteina e un aumento delle emissioni. La prima strategia è quindi quella di somministrare la giusta quantità di proteina che permette il soddisfacimento dei fabbisogni di accrescimento. L'efficienza può essere migliorata considerando le caratteristiche della proteina alimentare, quale degradabilità e valore biologico ed introducendo per animali particolarmente performanti proteine rumino-protette o amminoacidi essenziali. Dopo l'escrezione, l'azoto ureico presente nelle urine viene rapidamente convertito in NH<sub>3</sub> (Monteny ed Erisman, 1998). L'NH<sub>3</sub> non è un gas serra, ma è il precursore dell'N<sub>2</sub>O. Diversi lavori sperimentali hanno dimostrato che la riduzione di un punto percentuale del tenore proteico della dieta di bovine in lattazione con la somministrazione di un'adeguata quota di proteina by-pass, consente di ridurre l'escrezione di N urinario senza avere effetti negativi sulla produzione e sul tenore proteico del latte (Castillo et al., 2001; Noftsgger e St-Pierre, 2003). In uno studio effettuato in tre allevamenti di vacche da latte nel bacino Padano è stato riscontrato che riducendo di circa 1% la percentuale del tenore proteico della dieta ed ottimizzando il rapporto amminoacidico (lisina/metionina) è diminuita in modo significativo (circa 9%) l'escrezione giornaliera dell'azoto, senza penalizzare le prestazioni produttive (Migliorati e Boselli, 2013). Nell'ambito della medesima ricerca, su alcuni allevamenti da carne si è rilevato che, a fronte di una riduzione del tenore proteico, ottimizzando la proteina by-pass, a parità di performance è diminuito l'N escreto.

In questo può essere utile l'adozione di una alimentazione per fasi, considerando che i fabbisogni proteici diminuiscono in proporzione con la maturità dell'animale. Ad esempio, Vasconcelos et al. (2006) hanno riportato che riducendo la concentrazione di proteina grezza nella fase di finissaggio si riduce l'escrezione di N senza penalizzare la produzione. Questa tecnica è facilmente adottabile negli allevamenti da ingrasso dove gli animali sono suddivisi per lotti.

### **Zootecnia di precisione**

La zootecnia di precisione consiste nell'applicazione di tecnologie innovative che permettono all'allevatore di monitorare ogni singolo animale e di prendere decisioni immediate. Nella loro revisione bibliografica, Lovarelli et al. (2020) suggeriscono che la zootecnia di precisione possa migliorare le prestazioni ambientali, perché l'aumento della produttività è accompagnata da un uso preciso delle risorse alimentari. Le tecnologie di precisione stanno incontrando un grande interesse negli allevamenti da latte, ma anche in quelli da carne



può avere utili applicazioni. Ad esempio, l'applicazione di apparecchiature NIR (*Near Infra Red*) sul dessilatore del carro miscelatore permette di controllare la composizione della razione e le dimensioni dei foraggi, in modo che sia distribuita la giusta razione e si eviti che gli animali scelgano tra le diverse frazioni. Inoltre, la zootecnia di precisione facilita l'alimentazione a fasi che permette di distribuire razioni diverse a gruppi di animali che hanno esigenze diverse. Ciò permette di non sprecare risorse e migliorare l'efficienza con cui i

nutrienti sono utilizzati. L'aumento dell'efficienza è importante soprattutto per ridurre le emissioni di N<sub>2</sub>O, come visto prima, ma più in generale migliora l'impronta di carbonio, perché la produzione di alimenti richiede energia, fertilizzanti, antiparassitari e diserbanti.

Queste tecnologie sono abbastanza recenti e solo ora stanno incominciando a diffondersi. I risultati si potranno vedere a medio termine perché il loro effetto sulle emissioni non è diretto e mancano ancora, di conseguenza, dati che forniscano un'indicazione sul progresso realmente ottenibile.

## 6.2. Benessere animale

Garantire agli animali condizioni di benessere ottimali è la base per migliorare le prestazioni ambientali degli allevamenti (Pirlo e Speroni, 2020). Animali in buone condizioni di benessere si ammalano di meno, si sviluppano meglio e producono di più. Inoltre, ammalandosi meno la mortalità è più bassa e gli animali si riproducono più facilmente. In ultima analisi, sono più efficienti e il miglioramento dell'efficienza è uno degli obiettivi principali da perseguire per ridurre l'intensità di emissione. Il Regolamento (UE) 2016/429 sulle malattie animali trasmissibili (*Animal Health Law*) applicabile dal 21 aprile 2021, al considerando n.7 afferma che "la sanità animale e il benessere degli animali sono interconnessi: una migliore sanità animale favorisce un maggior benessere degli animali, e viceversa".

Condizioni di stress possono provocare risposte dannose, determinare l'incapacità di produrre risposte efficaci alle infezioni (Sapolsky et al., 2000) oppure rendere l'animale più vulnerabile alle malattie (Broom 1991); scenari sempre meglio spiegati dalle crescenti evidenze che collegano risposte da stress e sistema immunitario (Segerstrom e Miller 2004; Gomes et al., 2014).

L'attenzione al benessere riduce l'incidenza delle malattie e migliora le prestazioni produttive e riproduttive, riduce lo spreco di alimenti destinati agli animali, riduce lo scarto di prodotto o per cattiva qualità o per l'uso di farmaci, allunga il ciclo di vita e migliora la rimonta.

La cura per il benessere degli animali è di gran lunga, nelle condizioni in cui operano gli allevamenti del nostro Paese, in cui mancano per varie ragioni ampie superfici su cui praticare il pascolo, la principale strategia per migliorare la sostenibilità ambientale dell'allevamento. Il miglioramento del benessere permette infatti di migliorare anche la salute degli animali, riducendo così le perdite dovute alla mortalità e alle malattie; migliorano la crescita e gli indici riproduttivi. Migliora in definitiva l'efficienza e con essa si riduce il peso ambientale per ogni chilogrammo di carne prodotta.

In Italia vi sono sostanzialmente tre modelli di allevamento molto diversificati: quello intensivo a stabulazione libera, quello intensivo con gli animali a posta fissa sempre meno diffuso e gli allevamenti estensivi con l'utilizzo temporaneo o permanente del pascolo. Le considerazioni riportate fanno riferimento al benessere degli animali in un ambiente confinato a stabulazione libera e si basano sulle linee guida per la categorizzazione del rischio nell'allevamento bovino da carne dettate nel 2018 dal Centro di Referenza Nazionale per il Benessere Animale (CRENBA) e dall'Istituto Zooprofilattico Sperimentale della Lombardia e dell'Emilia-Romagna.

### Gestione della temperatura

Alle nostre latitudini soprattutto nel periodo estivo è importante mantenere valori di temperatura inferiori a quelli esterni e condizioni di umidità contenute, garantendo il ricambio dell'aria. L'adozione di sistemi di ombreggiamento e di raffrescamento con ventilatori, possibilmente collegati a sonde di temperatura e umidità in grado di regolarne in automatico il funzionamento, rappresentano misure importanti di miglioramento del benessere animale. Lo scopo è quello di mantenere la temperatura ambientale nell'intervallo ottimale (NRC, 1981) e di avere momenti di ristoro per gli animali quando la temperatura combinata con l'umidità supera i valori di tolleranza.



I sistemi per contenere la temperatura e l'umidità sono numerosi, a cominciare da quelli costruttivi. Le stalle devono essere alte, ampie, ventilate naturalmente. Nel caso di bovini da latte, soprattutto, gli animali vengono cosparsi d'acqua mediante docce o nebulizzatori.

Nel caso di stabulazione su lettiera mantenere una lettiera asciutta, anche grazie a una corretta ventilazione che riduce l'umidità ambientale, permette di ridurre le fermentazioni microbiche al suo interno. La ventilazione da attuare con pale di grandi dimensioni (i cosiddetti

"elicotteri") ha anche il ruolo di garantire il continuo ricircolo di aria, rimuovendo quella viziata.

La ventilazione, mantenendo asciutta la lettiera, riduce le emissioni di  $\text{NH}_3$  e  $\text{N}_2\text{O}$  dal letame accumulato e contribuisce a ridurre fino al 50% il consumo di paglia.

## Stabulazione

Due sono i principali sistemi di stabulazione dei bovini:

- ✓ stabulazione libera con zona di riposo a pavimento pieno e sovrastante lettiera (lettiera permanente e lettiera inclinata con pendenza minore del 10%);
- ✓ stabulazione libera con pavimento fessurato o forato e in alcuni casi con sovrastante tappeto di gomma.

Nella stalla a lettiera permanente la zona di riposo è organizzata in aree collettive a pavimentazione piana nelle quali vengono aggiunti, con frequenza settimanale o bisettimanale in funzione del periodo climatico, cospicui quantitativi di paglia (mediamente dai 5 ai 7 kg/capo per giorno), per mantenere la lettiera sufficientemente asciutta; l'asportazione dell'intera lettiera può avvenire ogni 3-6 mesi, in relazione alle esigenze colturali di ogni azienda.

I pavimenti fessurati di norma costituiti da elementi prefabbricati di calcestruzzo armato vibrato, prevedono una parte piena (travetti) preponderante rispetto alla parte vuota (fessure o fori). Questo tipo di pavimento è autopulente in quanto le deiezioni deposte, grazie all'azione di calpestamento degli animali, attraversano le fessure e cadono nelle sottostanti fosse di raccolta. L'adozione di questo pavimento limita il contatto fra animale e deiezioni nonché la riduzione delle emissioni.



I bovini da carne su pavimentazione fessurata presentano una maggiore incidenza di lesioni rispetto a quelli allevati su lettiera in paglia o lettiera inclinata, o anche su pavimentazioni con presenza solo parziale di lettiera in paglia. L'utilizzo di zone con presenza parziale o totale di superfici gommate su pavimento in cemento, soprattutto nelle aree di riposo riduce l'insorgenza di lesioni agli unghioni ed alle articolazioni.

Un sistema di stabulazione che sta prendendo piede soprattutto per i bovini da latte è quello della "compost barn" dove gli animali sono tenuti su una lettiera frequentemente movimentata per creare un ambiente aerobico e con una dotazione di spazio maggiore rispetto ad una lettiera permanente tradizionale. Questo sistema, oltre a migliorare il benessere degli animali e ad offrire un ambiente meno favorevole allo sviluppo di patogeni, riduce le emissioni di  $\text{CH}_4$ , in parte compensate da una maggiore emissione di  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{NH}_3$ .

## Spazio per animale

Il giusto periodo di riposo è fondamentale per il benessere quotidiano del bovino. Pertanto, l'area di decubito deve essere correttamente dimensionata al fine di garantirne il massimo livello di comfort e di igiene, nonché il completo utilizzo dello spazio a disposizione da parte di tutti gli animali, senza che si disturbino tra di loro. Fornire adeguati spazi, consente anche di ridurre l'aggressività e le forme di agonismo dei soggetti dominanti



verso i subordinati, in quanto quest'ultimi hanno più possibilità di allontanarsi e fuggire.

Non esistono dei parametri di legge per i bovini da carne, tuttavia, l'allevatore deve assicurare agli animali uno spazio adeguato che garantisca il movimento e il riposo e che rispetti le esigenze fisiologiche ed etologiche. Un buon stato di benessere degli animali permette di avere animali più sani, indici di mortalità più bassi, migliori prestazioni riproduttive e produttive e, in definitiva, un'efficienza di utilizzazione degli alimenti più elevata.

## Disponibilità di acqua

I fabbisogni idrici sono influenzati da numerosi fattori quali incremento ponderale, le attività motorie svolte, il tipo e quantità di assunzione dell'alimento, la temperatura ambientale. La capacità di rifornimento idrico e le dimensioni degli abbeveratoi dovrebbero essere appropriate perché possano bere più animali contemporaneamente. Gli abbeveratoi a tazza e gli abbeveratoi a vasca devono essere mantenuti puliti e

controllati giornalmente per assicurarsi che non siano bloccati o danneggiati e che l'acqua scorra liberamente. Gli abbeveratoi dovrebbero essere costruiti ed installati in modo tale che tutti gli animali siano in grado di utilizzarli quando hanno bisogno di bere.

Le attrezzature per la somministrazione di acqua devono ridurre al minimo le possibilità di contaminazione e le conseguenze negative derivanti da rivalità tra gli animali. Gli animali devono sempre avere accesso ad acqua fresca, di buona qualità, in quantità sufficiente ad impedire la disidratazione, libera da odori e sapori repellenti, agenti infettivi, sostanze tossiche e contaminanti che potrebbero accumularsi nei tessuti corporei ed essere dannosi per la salute ed il benessere degli animali.

### **Accesso alla mangiatoia**

Le attrezzature e le aree destinate all'alimentazione dei bovini devono essere adeguatamente dimensionate e costruite con materiali idonei, al fine di garantire un facile accesso degli animali e la possibilità di ingerire l'alimento necessario ai propri fabbisogni. La rastrelliera della mangiatoia deve avere uno sviluppo complessivo rapportato al numero di capi, al loro peso e al tipo di alimentazione adottato: se il foraggio e i concentrati non sono somministrati ad libitum, l'area di alimentazione dovrebbe essere sufficientemente ampia da consentire a tutti gli animali di alimentarsi contemporaneamente; se invece la razione è fornita interamente ad libitum (ad esempio come piatto unifeed) è accettabile che vi sia un accesso alternato degli animali alla mangiatoia, in quanto l'alimento è solitamente disponibile 24 ore al giorno, rimane omogeneo e mantiene le medesime caratteristiche nutritive. Per questo motivo, i posti in rastrelliera sono considerati sufficienti quando raggiungono un numero almeno pari al 70% dei soggetti presenti. Anche nel caso di box con spazi di accesso diversi, per differente taglia e peso dei bovini, il 70% degli animali deve potersi alimentare contemporaneamente (CRENBA, 2018).

### **Spazzole**

Questa pratica è raramente adottata negli allevamenti da carne a differenza di ciò che avviene in quelli da latte. È stato ormai ampiamente accertato che il comfort dei bovini condiziona in modo significativo il loro stato di salute e quindi la loro produttività. Le stalle più recenti sono state quindi dotate di una serie di attrezzature, anche di natura impiantistica, finalizzate a migliorare il benessere degli animali.

Su una base rotante in acciaio zincato o inox sono montate le setole (in materiale plastico), che ruotando lentamente esercitano un delicato massaggio sul cuoio delle vacche, asportando parassiti cutanei, incrostazioni e pelo vecchio. La rimozione comporta una riduzione del prurito, il miglioramento della traspirazione epidermica e della circolazione sanguigna periferica (CRENBA, 2018).

## **6.3 Produzione di energia da fonti rinnovabili**

L'agricoltura produce biomasse che possono essere utilizzate come combustibile rinnovabile, in alternativa ai combustibili fossili che sono la fonte principale di emissione di anidride carbonica in atmosfera. La produzione di energia elettrica derivante da fonti rinnovabili in sostituzione del mix di combustibili fossili utilizzati in Italia permette di evitare l'immissione di CO<sub>2</sub> in atmosfera in una quantità pari a 493.8 g di CO<sub>2</sub>eq per kWh (ISPRA, 2020).

In linea generale l'uso di biomasse è una strategia efficace per contrastare i cambiamenti climatici. Ciò in teoria, perché in pratica bisogna tenere conto che per produrre, trasportare e trattare alcune biomasse bisogna consumare energia e in alcuni casi il bilancio non si dimostra positivo. Inoltre, nel caso di coltivazione di biomasse specificatamente dedicate alla produzione di energia, ciò può avvenire a scapito della produzione di alimenti destinati all'uomo, creando così un conflitto con la funzione primaria dell'agricoltura, che è quella di produrre cibo.

Le aziende agricole hanno inoltre altre possibilità, non specifiche del settore zootecnico, per produrre energia, come il fotovoltaico, che sono molto diffuse e possono dare un contributo al raggiungimento della neutralità di carbonio, tanto che oggi si parla di "agrofotovoltaico".

### **Digestione anaerobica delle deiezioni**

L'allevamento animale ha la caratteristica di produrre una biomassa da cui è possibile ricavare energia senza creare competizione con altre funzioni dell'azienda agraria. Con la digestione anaerobica è infatti

possibile produrre energia elettrica, con un uso limitato di energia, senza trasporti significativi e senza che le deiezioni perdano il loro potere fertilizzante.

La digestione anaerobica è un processo biologico per mezzo del quale, in assenza di ossigeno, la sostanza organica contenuta nei materiali di origine vegetale e animale viene trasformata in biogas, costituito principalmente da  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ . È un processo complesso operato da differenti gruppi di batteri che agiscono in serie. La trasformazione avviene con una sequenza di fasi successive che, in piccola parte, tendono a sovrapporsi. Le prime due fasi possono essere considerate di preparazione e solo nella terza fase si ha produzione di biogas. Più in dettaglio, nella prima fase, i batteri idrolitici “spezzano” i composti organici complessi (cioè carboidrati, proteine e grassi) in sostanze più semplici (fase di idrolisi). Nella seconda fase, tali sostanze vengono trasformate, in un primo stadio, in acidi organici mediante reazioni di acidogenesi e, successivamente, in acetato ( $\text{COOH-CH}_3$ ),  $\text{CO}_2$  e idrogeno ( $\text{H}_2$ ), attraverso processi di acetogenesi (fase di fermentazione). Nell’ultima fase, quella più delicata, i batteri metanigeni trasformano i prodotti formati nella fase precedente in  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ , i principali costituenti del biogas. La sostanza organica viene quindi degradata liberando biogas, vettore energetico del processo, in misura variabile dal 30 all’85% (Bordoni et al., 2009).

La realizzazione di un impianto per la produzione di biogas alimentato a reflui zootecnici, da soli o in codigestione con altre matrici organiche, porta ad una riduzione significativa dell’impronta di carbonio del prodotto principale (latte o carne), che in un allevamento di bovine da latte è intorno al 20% (Bacenetti et al., 2016), tanto che la digestione anaerobica può essere compresa tra le più efficaci strategie di mitigazione delle emissioni di gas serra dalle attività zootecniche. Due sono i meccanismi attraverso cui ciò avviene: il principale è il fatto che dal biogas è possibile produrre energia elettrica evitando così di utilizzare combustibili fossili, come petrolio, carbone o gas naturale, che costituiscono una buona fetta della griglia elettrica nazionale; il secondo è il fatto che l’impianto trasforma in biogas circa i due terzi del  $\text{CH}_4$  che si sviluppa dai reflui che altrimenti andrebbe disperso in atmosfera (Battini et al., 2014). Questo vantaggio aumenta se le fosse in cui si accumula il digestato sono coperte.



La digestione anaerobica presenta inoltre il vantaggio di fornire un refluo, il digestato, che è un materiale stabilizzato dal punto di vista degli odori in quanto le matrici fermentescibili sono già state degradate all’interno dell’impianto, con evidenti benefici per le fasi successive di stoccaggio e di distribuzione agronomica.

La produzione di biogas deve avvenire tenendo conto del principio che lo scopo è quello di ridurre in primo luogo il carico ambientale legato al kWh di energia elettrico immesso in rete. Lo studio di Valli et al. (2017) ha messo in evidenza che un valore negativo netto dell’impronta di carbonio del kWh prodotto lo si ottiene quando l’impianto di biogas è alimentato in prevalenza con reflui zootecnici, rispetto alle colture dedicate, e ancor più se al refluo zootecnico si combinano sottoprodotti dell’agroindustria che, come tali, hanno un carico ambientale nullo. I sottoprodotti possono essere molteplici e derivare dall’agricoltura stessa o dall’industria di trasformazione casearia o di macellazione.

Il contributo complessivo alla riduzione del CFP della carne dipende infine dalla potenza dell’impianto rispetto a quelle dell’allevamento. Gli impianti alimentati solo con reflui sono di potenza limitata, così come l’effetto sul CFP della carne. Per avere riduzioni maggiori è necessario ricorrere all’introduzione di biomasse da colture o sottoprodotti, quali scarti colturali, residui della lavorazione del latte, residui della macellazione, lettiera avicola e molti altri ancora.

### **Pannelli fotovoltaici**

Il fotovoltaico è sempre stato scelto come soluzione per l’integrazione del reddito aziendale grazie ad interessanti incentivi statali e anche perché per molti è stata un’opportunità per lo smaltimento dell’amianto che si trovava in gran parte delle coperture delle aziende agricole.

La tendenza è stata quella di installare impianti medio/piccoli tra i 50 e i 100 kW di potenza.



La realizzazione di impianti fotovoltaici ha generalmente comportato l'immissione in rete di tutta l'energia prodotta e la riscossione dell'incentivo.

In questi ultimi anni, in seguito alla riduzione degli incentivi per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili risulta meno conveniente installare impianti fotovoltaici per la vendita di energia al gestore, ma risulta più interessante impiegarla nella propria azienda. Il contributo della realizzazione di un impianto fotovoltaico ha comunque un contributo limitato alla riduzione del CFP della carne

bovina, valutabile nell'1-2% (O'Brien et al, 2020). Anche in questo caso, però, il contributo dipende dalle dimensioni dell'impianto in rapporto a quelle dell'allevamento.

Uno stimolo all'installazione di questi impianti potrà venire dal **Piano nazionale integrato per l'energia e il clima**, in via di definizione.

Infine, un ruolo non trascurabile può essere giocato dall'efficientamento energetico dell'azienda agricola, estrinsecabile non solo nella produzione di energia da fonti rinnovabili ma anche dal recupero dei flussi energetici (es. calore prodotto in eccesso), da un uso più razionale di macchinari ed una riorganizzazione di processi produttivi ed operazioni, da interventi sugli impianti e sulle strutture (Valli et al., 2013).

## 6.4 Gestione delle deiezioni

Fino a qualche decennio fa l'animale aveva un ruolo molto importante nel funzionamento dell'azienda agricola, non solo perché era una voce economica rilevante, ma anche perché il letame era quasi l'unica forma di fertilizzazione del terreno. Con l'avvento di un'agricoltura più specializzata, una maggiore separazione tra coltivazione dei campi e allevamento e l'aumento delle dimensioni degli allevamenti, la gestione delle deiezioni è più complicata e talvolta pone problemi ambientali considerevoli. Ciò nonostante, le deiezioni animali sono una risorsa perché con esse si restituiscono nutrienti e sostanza organica al suolo e le deiezioni possono essere utilizzate per ulteriori altri scopi, quale ad esempio la produzione di energia.

Dal punto di vista ambientale, le deiezioni sono fonte di gas ad effetto serra, come il CH<sub>4</sub>, l'N<sub>2</sub>O e la CO<sub>2</sub>. Oltre a queste bisogna considerare altre sostanze, quali l'ammoniaca e i nitrati, che sono responsabili di altri importanti effetti sulla qualità dell'acqua e dell'aria.

Per limitare l'impatto ambientale delle emissioni da deiezioni vengono adottate diverse strategie che intervengono sulla forma fisica o chimica di liquami e letami oppure sulla gestione degli stessi. Agire, ad esempio, a livello strutturale ed organizzativo per mantenere separate fin dalla loro escrezione gli effluenti liquidi da quelli solidi permetterebbe significativi miglioramenti sotto il profilo ambientale e gestionale, limitando le emissioni di gas climalteranti. L'urea delle urine non volatilizza facilmente, ma quando viene in contatto con le feci, in cui è abbondante l'enzima ureasi, si idrolizza rapidamente dando origine a CO<sub>2</sub> e NH<sub>3</sub> da cui si forma poi N<sub>2</sub>O (Hristov et al., 2011).

Di seguito sono riportate le principali strategie per limitare le emissioni di gas ad effetto serra (CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O) da effluenti che entrano nel calcolo per la stima dell'impronta di carbonio della carne bovina, o di qualunque altro prodotto di origine animale (ricordiamo che la CO<sub>2</sub> derivante dalla respirazione o dalle fermentazioni non entra nel calcolo).

Le strategie per ridurre le emissioni di gas climalteranti dagli effluenti zootecnici devono comunque sempre inquadrarsi nell'impegno di ridurre le emissioni di NH<sub>3</sub>, che rappresenta un obiettivo primario per salvaguardare la qualità dell'aria, importante per la salute dell'uomo e dell'ambiente.

Gran parte del CH<sub>4</sub> delle deiezioni si forma in condizioni di anaerobiosi della fase di stoccaggio e solo una quota insignificante si forma dopo la distribuzione sul terreno. Di conseguenza, le opzioni per ridurre le emissioni di CH<sub>4</sub> dalle deiezioni si basano sulla prevenzione delle condizioni di anaerobiosi o sulla cattura e utilizzazione del CH<sub>4</sub> che si forma durante lo stoccaggio. È l'opposto per il N<sub>2</sub>O che, pur formandosi anche in condizioni di anaerobiosi, trova le migliori condizioni di formarsi in presenza di ossigeno (Hristov et al., 2013).

## **Le emissioni dalle strutture di ricovero: lettiera permanente e grigliato**

Le emissioni di CH<sub>4</sub> dalle deiezioni che si trovano all'interno della stalla o nei siti di stoccaggio derivano dalla fermentazione della sostanza organica mentre le emissioni di N<sub>2</sub>O dalla degradazione della proteina e dai fenomeni di nitrificazione e denitrificazione.

Le strategie per ridurre le emissioni all'interno delle strutture di ricovero possono essere riassunte in tre azioni principali:

- ✓ ridurre le superfici interessate dalla deposizione delle deiezioni, compatibilmente con le esigenze di funzionalità e di benessere animale;
- ✓ ridurre il tempo di permanenza delle deiezioni all'interno del ricovero, con particolare attenzione all'allontanamento rapido delle urine dalle aree pavimentate (es. corsie di servizio e di alimentazione nelle stalle per bovina da latte) e al mantenimento delle lettiere asciutte;
- ✓ mantenere una corretta climatizzazione del ricovero. Per ridurre le emissioni all'interno dei ricoveri è importante contenere la temperatura e la ventilazione sulla superficie interessata dalle deiezioni. Il tutto deve essere compatibile con l'esigenza (primarie) di garantire il benessere degli animali.

Nella stalla a lettiera permanente la zona di riposo è organizzata in aree collettive a pavimentazione piana nelle quali vengono aggiunti, con frequenza settimanale o bisettimanale in funzione del periodo climatico, cospicui quantitativi di paglia (mediamente dai 5 ai 7 kg/capo per giorno), per mantenere la lettiera sufficientemente asciutta; l'asportazione dell'intera lettiera può avvenire ogni 3-6 mesi, in relazione alle esigenze culturali di ogni azienda. La lettiera permanente presenta alcuni vantaggi per il benessere dell'animale, ma dal punto di vista delle emissioni di N<sub>2</sub>O è più sfavorevole rispetto al grigliato o alle cuccette (ISPRA, 2008; Hristov et al., 2013).

I pavimenti fessurati invece sono di norma costituiti da elementi prefabbricati di calcestruzzo armato vibrato e prevedono una parte piena (travetti) preponderante rispetto alla parte vuota (fessure o fori). Questo tipo di pavimento è autopulente in quanto le deiezioni deposte, grazie all'azione di calpestamento degli animali, attraversano le fessure e cadono nelle sottostanti fosse di raccolta. L'adozione di questo pavimento permette la limitazione del contatto fra animale e deiezioni nonché la riduzione delle emissioni di N<sub>2</sub>O che si trovano in forma liquida; al contrario la condizione di anaerobiosi favorisce la formazione di CH<sub>4</sub> (ISPRA, 2008; Hristov et al., 2013).

Tra gli allevamenti da latte si sta diffondendo la "compost barn" in cui gli animali sono tenuti in spazi più ampi rispetto a quelli della stalla a cuccette su una lettiera costituita dalle sole deiezioni. Queste sono più volte lavorate ogni giorno, in modo da creare un ambiente fortemente aerobico e con una limitata carica batterica. Questo tipo di stabulazione migliora le condizioni di benessere degli animali e riduce le emissioni di CH<sub>4</sub>; ma con un aumento di quelle di NH<sub>3</sub> e N<sub>2</sub>O.

## **Stoccaggio delle deiezioni**

Lo stoccaggio degli effluenti non palabili (liquami, ma anche digestati e frazioni liquide da separazione solido-liquido) avviene in un ambiente tipicamente anaerobico favorevole allo sviluppo di fermentazioni metanogene; allo stesso tempo, dalla superficie libera dei liquami si libera N<sub>2</sub>O e NH<sub>3</sub>, che pur non essendo un gas climalterante ha un effetto molto importante dal punto di vista ambientale perché reattivo e precursore di polveri sottili. Una delle prime misure da adottare per ridurre queste emissioni è quindi quella di coprire le vasche, o prevedendole già chiuse oppure adottando tecniche diverse, come teli, materiale plastico galleggiante o paglia.

La copertura delle vasche di accumulo è un'azione dal significativo impatto sulla riduzione dell'emissione di gas climalteranti in atmosfera. Nelle condizioni di anaerobiosi conseguenti alla copertura delle vasche dei liquami, si crea una situazione favorevole alla formazione di CH<sub>4</sub>, sarebbe perciò inutile e pericoloso se il CH<sub>4</sub> venisse rilasciato al momento della loro apertura; la copertura si rivela quindi realmente efficace solo se seguita dalla combustione del gas per produrre biogas. Nel caso del digestato in uscita dall'impianto di produzione di biogas la chiusura della vasca può comportare la riduzione del 99% delle emissioni di gas climalteranti rispetto allo stoccaggio dei liquami in vasca scoperta senza la loro digestione anaerobica (Battini et al., 2014).

Altre misure che possono essere adottate sono la riduzione della temperatura, l'acidificazione, con acido benzoico.

## Distribuzione delle deiezioni

La fase di distribuzione agronomica degli effluenti e la gestione dei terreni agrari in seguito ad essa sono rilevanti ai fini delle emissioni azotate. Durante la fase di distribuzione agronomica degli effluenti e nei momenti immediatamente successivi si verificano emissioni di  $\text{NH}_3$ . Nei periodi successivi alla distribuzione si possono verificare invece emissioni di  $\text{N}_2\text{O}$ , e l'entità delle stesse dipende in larga parte dalle condizioni del suolo. Le strategie di mitigazione delle emissioni seguono il principio guida di ridurre la superficie di scambio con l'aria e il tempo di esposizione dell'effluente all'aria.

Il momento della distribuzione dei reflui zootecnici è molto importante per ridurre l'inquinamento dell'aria e dell'acqua e, anche, per evitare il più possibile l'emissione di  $\text{N}_2\text{O}$ . Banalmente anche l'attenzione a non distribuire il liquame prima di una pioggia imminente è una decisione virtuosa. Scegliendo i momenti di distribuzione in cui è massima l'utilizzazione da parte delle colture, anche adottando tecniche di agricoltura di precisione, si limitano le emissioni di gas climalteranti e di  $\text{NH}_3$ . L'incremento della capienza degli stoccaggi rispetto al minimo previsto per legge aumenterebbe la possibilità di distribuire gli effluenti nei periodi più idonei, svincolando così tale operazione dalla necessità di svuotare lo stoccaggio. Inoltre, se l'effluente fosse più concentrato e fossero previsti più interventi nella stagione nelle diverse fasi colturali, si avrebbero costi concorrenziali con i concimi minerali e con maggior efficienza dell'azoto per il maggior assorbimento da parte delle piante.

Per ridurre le emissioni di  $\text{NH}_3$  durante la fase di distribuzione è necessario operare con tecniche che riducono la nebulizzazione e dispersione del liquame e del letame. Per gli effluenti non palabili va evitata la distribuzione superficiale a spaglio (con piatto deviatore o getti devianti) in favore di quella rasoterra in banda (con calate o deflettori) o sotto la superficie. Per gli effluenti palabili la distribuzione a spaglio deve essere realizzata con accorgimenti atti a garantire la minore dispersione e polverizzazione (utilizzo di deflettori per mantenere bassa la traiettoria; basse velocità degli organi di distribuzione) e nelle idonee condizioni climatiche (assenza di vento).

Queste tecniche consentono anche la riduzione delle emissioni di polveri e la dispersione di patogeni, con benefici anche dal punto di vista igienico-sanitario.

È importante anche ridurre la superficie di contatto tra il liquame o letame distribuito e l'aria. Le principali tecniche di riferimento sono la distribuzione a bande e lo spargimento con leggera scarificazione del suolo al di sotto della copertura erbosa. Tutte misure interessanti che possono conseguire una riduzione delle emissioni rispetto alla tecnica di riferimento (spargimento superficiale in pressione) del 30-40%, fino al 60% per iniezione poco profonda, ma che possono presentare limitazioni di applicabilità a seconda del tipo di effluente, delle caratteristiche e condizioni del suolo, della forma e dimensioni dell'appezzamento.

La riduzione delle emissioni di  $\text{NH}_3$  dai reflui apportati al terreno è un obiettivo primario per salvaguardare la qualità dell'aria. L'interramento immediato è la tecnica di riferimento. L'iniezione profonda è molto efficace (si stima 80% della riduzione delle emissioni di  $\text{NH}_3$ ), ma che richiede l'uso di macchine specializzate e che può comportare un incremento della percolazione di nitrati in falda nei suoli con tessitura grossolana. Sono comunque da privilegiare quelle strategie che riducono il tempo tra distribuzione dell'effluente e assorbimento della pianta e che, in presenza di questa, permettono una distribuzione localizzata e sincronizzata con le esigenze vegetative della coltura.

Le caratteristiche del terreno influenzano anche l'applicazione dell'iniezione superficiale che va incontro a restrizioni nel caso di terreni molto asciutti, pietrosi o molto compatti.





## Valorizzazione dei reflui zootecnici e fertilizzanti di sintesi

Le deiezioni zootecniche restituiscono al terreno fertilità e nutrienti (N, P e K). La loro valorizzazione è una delle azioni più potenti per ridurre l'inquinamento e l'emissione di gas climalteranti. In generale, ogni pratica di agricoltura di precisione può contribuire in modo determinante ad incrementare l'efficienza dell'azoto distribuito e ridurre quindi l'impatto ambientale dell'effluente stesso sia in termini di ruscellamento, percolazione negli strati sotto superficiali (e quindi di inquinamento dell'acquifero) sia in termini di emissioni in atmosfera.

Con la concimazione organica si apporta carbonio al terreno e si contribuisce al sequestro di questo elemento, con effetti benefici per la riduzione dell'effetto serra. Inoltre, il risparmio nell'uso di fertilizzanti inorganici, specie quelli ammoniacali, comporta anche minor consumo di combustibili fossili per produrli e distribuirli.

Sono importanti anche le differenze di emissioni di  $N_2O$  tra i fertilizzanti azotati di sintesi. I fertilizzanti a base di nitrati generano maggiori perdite di  $N_2O$  rispetto all'urea o ai fertilizzanti ammoniacali (Schils et al., 2013). La scelta verso l'urea piuttosto che per i fertilizzanti nitrici è sostenuta anche dal fatto che l'impatto ambientale di questi ultimi (in pratica l'energia necessaria per produrli) è superiore a quella dell'urea (Snyder et al., 2009).

## Inibizione della nitrificazione e dell'ureasi

L'ureasi è un enzima che catalizza la reazione dell'urea con l'acqua producendo  $NH_3$  e  $CO_2$ . Gli inibitori dell'ureasi bloccando questa reazione impediscono la formazione di  $NH_3$  e conseguentemente di  $N_2O$ . L'inibitore più utilizzato è l'N-(n-butyl) thriophosphoric triamide (nBTPT), che per essere efficace deve essere applicato all'urina prima che si mescoli alle feci o al terreno; di conseguenza il suo utilizzo può essere previsto solo per animali al pascolo (Montes et al., 2013). Per evitare questo limite, l'urea viene trattata con nBTPT in modo che si rallentino le emissioni di  $N_2O$ ,  $NH_3$  e  $NO_3$ .

Gli inibitori della nitrificazione sopprimono, in modo temporaneo, l'attività di alcuni microrganismi che convertono lo ione ammoniacale ( $NH_4^+$ ) a nitrito ( $NO_2$ ). Ciò riduce il substrato per la formazione di  $NO_3$  e  $N_2O$  (Lam et al., 2017).

Tre sono gli inibitori della nitrificazione più utilizzati: Dicyandiamide (DCD), 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DPPP) e Piramyrin che in esperimenti con animali al pascolo si sono dimostrati molto efficaci (Montes et al., 2013; Di e Cameron, 2012; Misselbrook et al., 2014). Un effetto collaterale non favorevole è il fatto che possono provocare un aumento delle emissioni di  $NH_3$ .

## 6.5 Sequestro del carbonio

Nel suolo è deposta la maggiore riserva di carbonio, escluse ovviamente quelle costituite dai combustibili fossili e quella presente nelle acque e nei fondali marini. È stato stimato che nei primi strati del suolo vi siano 2500 Gt (miliardi di tonnellate) di carbonio, pari a 3,3 volte quello che si trova in atmosfera e 4,5 volte quello che costituisce la biomassa vegetale (Lal, 2004). L'aumento delle riserve di carbonio organico nel terreno è considerata ormai una strategia imprescindibile per la lotta contro i cambiamenti climatici, perché si ritiene che l'obiettivo di raggiungere la neutralità di carbonio entro il 2050 non sia raggiungibile se non aumentando drasticamente la capacità di assorbimento della  $CO_2$  atmosferica (Willett et al., 2019).

Quale sia la reale efficacia di questa strategia è però tutt'altro che facile per una serie di ragioni. La principale è che il processo di assorbimento di  $CO_2$  da parte del suolo non è infinito, inoltre è reversibile e, infine, è variabile in funzione di molti fattori, quali il grado di lavorazione del suolo, l'irrigazione, il clima, la fertilizzazione e le colture.

Nel settore animale, il sequestro di carbonio può essere perseguito in diversi modi, ma il principale è quello di rimuovere il terreno il meno possibile (Soussana et al., 2009). Nel caso dei sistemi produttivi misti (presenza di cereali e prati), le strategie da seguire per aumentare la concentrazione di carbonio organico nel suolo sono almeno quattro.

1. Distribuzione di reflui zootecnici e cover crops. La continua distribuzione di materia organica nei sistemi basati sul mais accresce il contenuto di C organico nel suolo rispetto all'applicazione di soli fertilizzanti di

sintesi (Zavattaro et al., 2017). È stato poi dimostrato che anche le cover crops possono far incrementare le riserve di carbonio per un periodo di tempo piuttosto lungo (Poeplau and Don, 2015).

2. Ridurre le operazioni colturali. Ridurre le lavorazioni del terreno permette di risparmiare carburante e abbassare così il carbon footprint, ma non solo. In particolare, non effettuare l'aratura favorisce l'accumulo di C e N nel terreno (Francaviglia et al., 2012).
3. Convertire le colture in prati permanenti. È una misura strategica, specie in quelle regioni in cui la zootecnia è più intensiva. Castelli et al. (2017) hanno osservato che il contenuto di C organico nel suolo aumenta in modo costante per oltre 30 anni dopo la conversione di un terreno a monocultura di mais a prato permanente. Secondo studi francesi (Arrouays et al., 2002) un prato permanente è in grado di trattenere 500 kg/ha per anno di C per 20 anni, dopo di che questa capacità si affievolisce. Bisogna inoltre considerare che dopo la rottura del prato si ha una perdita rapida di CO<sub>2</sub> in atmosfera. Anche i prati avvicendati possono costituire riserve di carbonio nel suolo, ma l'ammontare dipende da vari fattori il principale dei quali è la durata del prato. Secondo Dollè et al. (2013) il sequestro è pari a 80 kg di C/ha per anno e la perdita dopo la rottura è di 160 kg di C/ha per anno.
4. Forestazione. La presenza di macchie o filari è una misura molto efficace per ridurre il carbon footprint. Una macchia o un bosco possono sequestrare circa 450 kg di C/ha per anno per una durata di 20 anni; per le siepi si suggerisce invece un sequestro di 100 kg di C/ha per anno (Arrouays et al., 2002).

Misure quali la conversione dei seminativi in prati permanenti o della piantumazione di siepi non sono facilmente sostenibili dal punto di vista economico e richiedono, perciò, una forma di sostegno pubblica, tramite la Politica Agricola Comunitaria, ad esempio, oppure essere stimolate da un mercato di crediti di carbonio, quale quello dell'*Emission Trade System* (ETS). È però necessario, a questo proposito, disporre di un sistema di contabilità dei crediti che sia preciso, sensibile e attuabile, in grado di registrare i progressi ottenuti con l'applicazione di queste misure, inquadrato in un protocollo di monitoraggio, rendicontazione e verifica (MRV) e certificazione.

## CAPITOLO 7: I risultati delle aziende del progetto

La valutazione dell'impatto ambientale è stata fatta in un campione di 100 allevamenti da carne dimostrativi costituito da 82 aziende ad ingrasso specializzato e 18 aziende linea vacca vitello a ciclo chiuso, situati nelle province di Torino Cuneo e Asti (Piemonte) e in quelle di Padova, Venezia, Rovigo, Treviso, Verona, Mantova, Vicenza (Veneto). Nelle aziende ad ingrasso specializzato erano allevati animali (maschi o femmine) di età compresa tra i 16 e i 20 mesi appartenenti alle principali razze da carne francesi (Charolais, Limousine, Blond d'Aquitane o Garonnese, Salers) e incroci, acquistati prevalentemente sul mercato francese ad un peso di circa 300 kg e macellati ad un peso compreso tra i 450 e i 650 kg. Nelle aziende linea vacca vitello, la carne era prodotta da animali maschi o femmine di razza Piemontese di età pari a circa 18-20 mesi e vacche a fine carriera di età oltre i 36 mesi.



Gli animali erano allevati in box su pavimento fessurato o su lettiera permanente. La dieta degli animali era composta da mais (utilizzato come insilato, pastone o granella), fieno, paglia, cereali (orzo o frumento) generalmente autoprodotti in azienda, farina di estrazione di soia, sottoprodotti, mangime e integratori minerali-vitaminici acquistati all'esterno.

Le aziende dimostrative ad ingrasso specializzato avevano una dimensione media di circa 58 ha e una consistenza media di stalla pari a 375 capi. Gli animali sono stati acquistati ad un peso medio di 333 kg ad un'età di circa 10 mesi e sono stati macellati ad un peso intono ai 640 kg con un'età di circa 18 mesi. La durata del ciclo d'ingrasso è stata di 241 giorni e l'incremento medio giornaliero è stato di 1,27 kg.

Gli allevamenti linea vacca vitello avevano una superficie media pari a 54 ha con un numero medio di capi allevati di 215 ed un numero di vacche nutrici pari a 65. L'età alla macellazione degli animali è stata di circa 16 mesi ad un peso medio di 498 kg per le femmine e 620 kg per i maschi. In alcune aziende, le femmine sono state macellate ad un'età di circa 15 mesi per ottenere una carne più tenera come richiesto dal mercato. Le vacche a fine carriera sono state macellate ad un'età di circa 74 mesi. La durata del ciclo d'ingrasso degli animali è stata pari a circa 330 giorni. L'incremento medio giornaliero è stato di 0,74 kg per le femmine e 1,1 kg per i maschi.

Nel 2016, all'inizio del progetto, l'impronta di carbonio degli allevamenti dimostrativi analizzati era pari a  $9,05 \pm 1,96$  kg CO<sub>2</sub> eq/kg di incremento di peso vivo nel caso degli allevamenti ad ingrasso specializzato e  $20,14 \pm 6,77$  kg CO<sub>2</sub> eq/ kg di incremento di peso vivo nel caso della linea vacca vitello.

Nel caso degli allevamenti ad ingrasso specializzato, va sottolineato che il valore così basso di impronta di carbonio rispetto a quanto si trova in letteratura deriva dal fatto che è stata considerata solo la fase dell'ingrasso degli animali e non tutto il ciclo produttivo che comprende anche la fase dello svezzamento del vitello sotto la madre che generalmente avviene in Francia.

Gli allevatori delle aziende innovate (21 aziende ad ingrasso specializzato, un'azienda linea vacca vitello a ciclo aperto e un'azienda linea vacca vitello a ciclo chiuso) si sono impegnati a migliorare le performance ambientali della loro azienda adottando il *BEEF CARBON ACTION PLAN* che prevedeva alcune delle strategie di mitigazione illustrate nel capitolo precedente, agendo sia a monte del processo produttivo per la riduzione delle emissioni di metano enterico e dei quantitativi di azoto escreto per unità di prodotto, sia a valle per la riduzione delle emissioni derivanti dalla produzione del refluo zootecnico e dall'utilizzo dei fertilizzanti azotati di sintesi.

L'elenco di tutte le strategie di mitigazione che sono state applicate nelle aziende è riportato nella tabella 3.



Tabella 3. Lista delle strategie di mitigazione applicate negli allevamenti di carne bovina in Italia coinvolti nel progetto *LIFE BEEF CARBON*.

Tipo di strategia	Descrizione
Alimentazione	Uso di additivi per mangimi (acido linoleico coniugato, CLA) Riduzione del tenore proteico della dieta Sostituzione della dieta con concentrati ad alto contenuto energetico con una dieta con maggiore percentuale di foraggio Aumento della quota di concentrato nella dieta Razionamento per fasi produttive
Gestione zootecnica	Miglioramento delle performance degli animali e riduzione del ciclo d'ingrasso
Benessere animale	Miglioramento delle condizioni microclimatiche della stalla grazie all'utilizzo di ventilatori Aumento della disponibilità dello spazio per capo Utilizzo di tappetini in gomma sul pavimento in cemento
Gestione delle deiezioni	Interramento rapido del liquame
Concimazione azotata minerale	Uso efficiente del liquame e del digestato per ottimizzare la quota di azoto nel terreno Riduzione dell'utilizzo di urea
Energia	Aumento dell'energia rinnovabile prodotta in azienda utilizzando pannelli fotovoltaici e impianti di digestione anaerobica
Sequestro del carbonio	Minime lavorazioni

Nelle aziende innovative ad ingrasso specializzato, la maggior parte degli allevatori ha puntato su strategie di mitigazione orientate al miglioramento del benessere degli animali attraverso l'installazione di ventilatori, la posa di materiale plastico sul pavimento grigliato o l'ampliamento dello spazio a disposizione per ogni singolo capo che hanno determinato un incremento delle performance produttive degli animali. Questo è un tipico approccio "win-win" che consente di migliorare l'efficienza di conversione dei mangimi, ridurre l'impatto ambientale ed ottenere un beneficio economico.

Altri hanno invece optato per una riduzione delle emissioni di N<sub>2</sub>O dalle deiezioni lavorando sulla dieta degli animali riducendo il tenore proteico evitando gli eccessi ed utilizzando alimenti proteici più facilmente digeribili e degradabili.

Le emissioni di CH<sub>4</sub> enterico si sono ridotte in quelle aziende in cui gli allevatori hanno deciso di aumentare la quota di concentrato allo scopo di ridurre la durata del ciclo d'ingrasso; in questi casi, infatti, gli animali raggiungono in minore tempo la maturità. Alcuni, invece, sono intervenuti sostituendo una quota di carboidrati con una quota lipidica; in questo caso la metanogenesi si riduce perché i grassi non vengono fermentati dai microrganismi ruminali.

Tre allevamenti hanno ridotto le emissioni di N<sub>2</sub>O e di NH<sub>3</sub> in atmosfera diminuendo l'utilizzo dei fertilizzanti azotati nel terreno, grazie ad un impiego più efficiente del refluo zootecnico prodotto in azienda oppure attraverso l'uso di urea a lenta cessione.

In otto allevamenti era presente un impianto di digestione anaerobica. La digestione anaerobica è una strategia molto popolare ed efficace per ridurre le emissioni di metano prodotto dalle deiezioni, perché questo gas viene in gran parte intercettato nel digestore e convertito in energia elettrica che può essere utilizzata in azienda o ceduta alla rete di distribuzione.

Ancora poco diffuse sono le pratiche agricole che aumentano la sostanza organica nel terreno e favoriscono il recupero di carbonio. In questo modo, non solo si riducono le emissioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera, ma se ne può sequestrare una parte nel terreno. A tal fine si possono, ad esempio, inserire colture intercalari tra due colture arative per evitare di lasciare il terreno nudo; oppure si può aumentare la quota di colture da foraggio nel piano culturale aziendale. Altre misure sono l'inserimento delle leguminose nella rotazione, la trinciatura e l'interramento dei residui colturali, l'adozione di pratiche agricole che sostituiscano l'aratura profonda con lavorazioni ridotte o nulle, l'aumento delle superfici a prato, a siepi e a boschi. In questo gruppo di aziende, solo due hanno adottato le minime lavorazioni, ottenendo un beneficio sia in termini di riduzione dei consumi in termini di carburante, manodopera e aumento del numero di ettari lavorati in meno tempo.

Nelle due aziende linea vacca-vitello, le performance ambientali sono migliorate in seguito al miglioramento di condizioni di benessere degli animali, grazie alla maggiore disponibilità di spazio per capo per le vacche nutrici e per gli animali all'ingrasso. Questa strategia ha avuto un effetto positivo sulle performance riproduttive (aumento del numero di vitelli nati e di conseguenza svezzati, una riduzione della durata dell'interparto, riduzione dell'età al primo parto) e produttive (riduzione del ciclo d'ingrasso per le manze e per i castrati, aumento dell'incremento medio giornaliero e riduzione dell'età allo svezzamento).

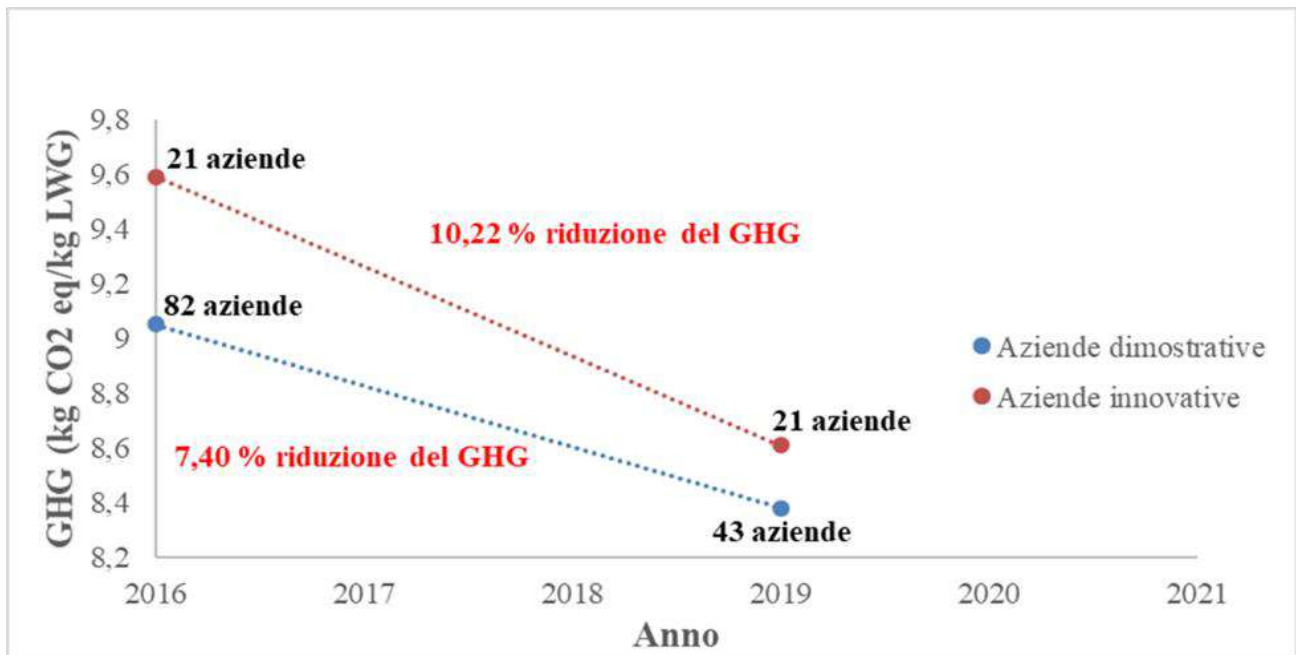
L'introduzione di queste strategie di mitigazione nelle aziende innovative ha determinato un miglioramento delle performance ambientali sia nelle aziende ad ingrasso specializzato sia in quelle della linea vacca-vitello in circa tre anni di attività. Infatti, le prime hanno ridotto la loro impronta di carbonio del 10%; mentre le seconde del 20%.

**Negli allevamenti ad ingrasso specializzato, i risultati migliori, superiori addirittura all'obiettivo del progetto, sono stati ottenuti in quelle aziende che hanno adottato un approccio integrato per la riduzione delle emissioni caratterizzato dall'applicazione di più di una strategia di mitigazione (ad esempio, miglioramento del benessere degli animali, modifica della dieta, gestione più efficiente del refluo, produzione di energia rinnovabile): in questo caso è stata registrata una riduzione dell'impronta di carbonio di circa il 20%.**

Anche negli allevamenti dimostrativi da ingrasso specializzato sono state adottate alcune strategie di mitigazione per ridurre l'impatto ambientale e si è osservata una riduzione media di circa il 7% in tre anni.

Il differente effetto dell'applicazione delle strategie di mitigazione nei due campioni di aziende si spiega certamente per il maggior impegno delle aziende innovative, ma può aver contribuito anche il fatto che le aziende dimostrative avevano un minor impatto ambientale all'inizio del progetto rispetto alle aziende innovative (Figura 9).

Figura 9. Effetto dell'applicazione delle strategie di mitigazione nelle aziende ad ingrasso specializzato del progetto *LIFE BEEF CARBON*.



I risultati ottenuti nell'ambito del progetto hanno mostrato che è possibile ridurre l'impatto ambientale delle aziende zootecniche da carne applicando il *BEEF CARBON ACTION PLAN* e che se si adotta più di una strategia è possibile superare l'obiettivo posto dal progetto anche in un tempo più breve a quanto stabilito all'inizio. Tra le strategie di mitigazione proposte, quelle che puntano al miglioramento delle prestazioni produttive grazie al miglioramento del benessere attraverso, ad esempio, all'introduzione di ventilatori o tappetini in gomma ed all'aumento dello spazio a disposizione per capo, sono quelle che hanno contribuito maggiormente alla riduzione dell'intensità di emissione.

Le strategie che riguardano l'alimentazione degli animali, la gestione del refluo zootecnico, gli aspetti agronomici e il sequestro del carbonio sono quelle per le quali si dovranno fare i maggiori sforzi per aumentare la loro diffusione, perché hanno ancora dei grandi potenziali di miglioramento.

Il progetto ha inoltre evidenziato con delle simulazioni che adottando un approccio integrato per la riduzione delle emissioni, basato sul miglioramento delle performance produttive degli animali, sulla modifica della qualità e della quantità della proteina della dieta, sulla riduzione dell'uso dei fertilizzanti di sintesi, sull'utilizzo di tecniche per l'interramento rapido del refluo, sulla copertura delle vasche di stoccaggio, sulla conversione di seminativi a prati pascolo e installazione dell'impianto di biogas, è possibile ottenere una riduzione del 40-50% dell'impronta di carbonio. Tale risultato, però, è ancora lontano dall'obiettivo di neutralità di carbonio previsto dall'Unione Europea con il Green Deal, alla quale ci si potrà arrivare introducendo altre innovazioni, come ad esempio l'uso di additivi, ancora non disponibili commercialmente, che possono ridurre le fermentazioni enteriche.

## BIBLIOGRAFIA:

1. Alemu A.W., Shreck A.L., Booker C.W., McGinn S.M., Pekrul L.K.D., Kindermann M., Beauchemin K.A., 2021. Use of 3-nitrooxypropanol in a commercial feedlot to decrease enteric methane emissions from cattle fed a corn-based finishing diet. *J. Anim. Sci.*, 99(1): 1-13. Doi: 10.1093/jas/skaa394.
2. Arrouays D., Balesdent J., Germon J.-C., Jayet P.-A., Soussana J.-F., & Stengel P., 2002. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France. INRA.
3. Bacenetti J., Bava L., Zucali M., Lovarelli D., Sandrucci A., Tamburini A., Fiala M. Anaerobic digestion and milking frequency as mitigation strategies of the environmental burden in the milk production system. *Science of the total environment* 539, 2016 (450-459).
4. Battini F., Agostini A., Boulamanti A. K., Giuntoli J., Amaducci S., 2014. Mitigating the environmental impacts of milk production via anaerobic digestion of manure: Case study of a dairy farm in the Po Valley. *Sci. Tot. Environ.*, 481: 196 – 208.
5. Batjes N.H., 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *Eu. J. Soil Sci.*, 47: 151-163.
6. Beauchemin K.A., McGinn S.M., 2005. Methane emissions from feedlot cattle fed barley or corn diets. *J. Anim. Sci.*, 83: 653-61.
7. Beauchemin K.A., Ungerfeld E.M., Eckard R.J., Wang M., 2020. Review: Fifty years of research on rumen methanogenesis: lessons learned and future challenges for mitigation. *Animal*, 14(S1): s2-s16.
8. Blanco G., Gerlagh R., Suh S., Barrett J., de Coninck H.C., Mathur R., Nakicenovic N., Ofusu Ahenkora A., Pan J., Pathak H., Rice J., Smith S.J., Stern D.I., Toth F.L., Zhou P., 2014. Drivers, trends and mitigation. In: *Climate Change 2014. Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the fifth Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., Farahani E., Kadner S., Seyboth K., Adler A., Baum I., Brunner S., Eickmeier P., Kriemann B., Savolainen J., Schlömer S., von Stechow C., Zwickel T., Minx J.C. (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
9. Bordoni A., Romagnoli E., Foppa Pedretti E., Toscano G., Rossini G., Cozzolino E., Riva G.L., 2009. La filiera del biogas, aspetti salienti dello stato dell'arte e prospettive. *Monografia, IRIS, Università Politecnica delle Marche*.
10. Boselli L., 2015. Environmental assessment of the main northern Italy beef production systems using an LCA methodology. PhD thesis, University of Milan, Department of Animal Sciences.
11. Broom D.M., 1991. Animal welfare: concepts and measurement. *J. Anim. Sci.*, 69: 4167-4175.
12. Capper J.L., 2011. The environmental impact of beef production in the United States: 1977 compared with 2007. *J. Anim. Sci.*, 89: 4249-4261.
13. Castelli F., Ceotto E., Borrelli L., Cabassi G., Moschella A., Fornara D., 2017. No-till permanent meadows soil carbon sequestration and nitrogen use efficiency at the expense of profitability. *Agron. Sustain. Dev.*, 37: 55.
14. Castillo A.R., Kebreab E., Beeve D.E., Barbi J.H., Sutton J.D., Kirby H.C., France J., 2001. The effect of protein supplementation on nitrogen utilization in lactating dairy cows fed grass silage diets. *Journal of Animal Science*, 79: 247-253.
15. Centro di Referenza Nazionale per il Benessere Animale (CRenBA) e Istituto Zooprofilattico Sperimentale della Lombardia e dell'Emilia-Romagna (IZS), 2018. *Benessere animale: linee guida per la categorizzazione del rischio nell'allevamento bovino da carne*.
16. Chiriaco M.V., Valentini R., 2021. A land-based approach for climate change mitigation in livestock sector. *J. Cleaner Prod.*, 283: 124622.
17. CML, Bureau B&G, School of System Engineering, Policy Analysis and Management Delft University of Technology, 2001, 'Life cycle assessment: an operational guide to the ISO standards.
18. Cobellis G., Trabalza-Marinucci M., Yu Z., 2016. Critical evaluation of essential oils as rumen modifiers in ruminant nutrition: a review. *Science of the Total Environment*, 545–546: 556–568.

19. Conrad R., 2020. Importance of hydrogenotrophic, acetoclastic and methylotrophic methanogenesis in terrestrial, aquatic and other anoxic environments: A mini review. *Pedosphere*, 30(1): 25-39
20. Di H.J., Cameron K.C., 2012. How does the application of different nitrification inhibitors affect nitrous oxide emissions and nitrate leaching from cow urine in grazing pasture? *Soil Use Manag.*, 28: 54-61.
21. Dollé J.-B., Faverdin P., Agabriel J., Sauvant D., and Klumpp K., 2013. Contribution de l'élevage bovin aux émissions de GES et au stockage de carbone selon les systèmes de production (contribution of cattle farming to GHG emissions and carbon storage). *Fourrages*, 215: 181–191.
22. EEA (European Environment Agency, 2019. Annual European Union greenhouse gas inventory 1990 – 2017 and inventory report 2019. Report 304/2019.EEA/PUBL/2019/051.
23. EMEP., 2013. Emission inventory guidebook 2013. EMEP/EEA.
24. Francaviglia R., Farina R., Corti G., De Sanctis G., Roggero P.P., 2008. Soil carbon stocks, carbon dioxide sequestration and tillage techniques. *Ital. J. Agron., Suppl.* 3: 841-842.
25. FAOSTAT, 2014. <https://www.fao.org/faostat/en/#home>
26. Gac A., Manneville V., Raison C., Charroint T., Ferrand M., 2010. L'empreinte carbone des élevages d'herbivores : présentation de la méthodologie d'évaluation appliquée à des élevages spécialisés lait et viande. *Renc Rech Ruminants* 17: 335-342.
27. Gerber P.J. Steinfeld H., Henderson B., Mottet A., Opio C., Dijkman J., Faluccci A., Tempio G., 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
28. GES'TIM., 2010. Guide méthodologique pour l'estimation des impacts des activités agricoles sur l'effet de serre.
29. Gomes A.V.S., Quinteiro-Filho W.M., Ribeiro A., Ferraz-de-Paula V., Pinheiro M.L., Baskevill E., Akamine A.T., Astolfi-Ferreira A.J.P., Palermo-Neto J., 2014. Overcrowding stress decreases 14 macrophage activity and increases Salmonella enteritidis invasion in broiler chickens. *Avian Pathology*, 43: 82-90.
30. Grainger C., Beauchemin K.A., 2011. Can enteric methane emissions from ruminants be lowered without lowering their production? *Animal Feed Science and Technology*, 166–167: 308–320.
31. Guyader J., Janzen H.H., Kroebel R., Beauchemin K.A., 2016. Invited Review: Forage utilization to improve environmental sustainability of ruminant production. *J. Anim. Sci.*, 94: 3147–3158.
32. Honan M., Feng X., Tricarico J.M., Kebreab E., 2021. Feed additive as a strategic approach to reduce enteric methane production in cattle: modes of action, effectiveness and safety. *Anim. Prod. Sci.* <https://doi.org/10.1071/AN20295>.
33. Hristov A.N., Hanigan M., Cole A., Todd R., McAllister T.A., Ndegwa P.M., Rotz A., 2011. Review: Ammonia emissions from dairy farms and beef feedlots. *Can. J. Anim. Sci.*, 91: 1-35.
34. Hristov A.N., Oh J., Lee C., Meinen R., Montes F., Ott T., Firkins J., Rotz A., Dell C., Adesogan A., Yang W., Tricarico J., Kebreab E., Waghorn G., Dijkstra J., Oosting S., 2013. Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production – A review of technical options for non-CO<sub>2</sub> emissions. Gerber P., Henderson B., Makkar H.P.S. (Eds.). FAO Animal production and health paper No. 177. FA, Rome, Italy.
35. Hristov A.N., Oh J., Firkins J.L., Dijkstra J., Kebreab E., Waghorn G., Makkar H.P.S., Adesogan A.T., Yang W., Lee C., Gerber P.J., Henderson B., Tricarico J.M., 2013. SPECIAL TOPICS-Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *J. Anim. Sci.* 91: 5045-5069.
36. IDELE, 2018. CAP'2ER methodology guide. Institut d'Élevage, Paris, France. Retrieved on 15 May 2018-<http://idele.fr/presse/publication/idelesolr/recommends/guide-methodologique-cap2er.htm>.
37. IPCC, 2006. Emissions from livestock and manure management. Chapter 10-11 in IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory. Vol. 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use.
38. IPCC, 2013. Climate Change 2013: The physical science basis, contribution of Working group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker T.F., D. Qin, G.-

- K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, Bex V., Midgley P.M(eds.)). Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
39. ISPRA, 2008. Agricoltura. Inventario nazionale delle emissioni e disaggregazione provinciale. Rapporti 85. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma, Italy. ISPRA, 2011. Italia.
  40. ISPRA, 2020. Fattori di emissione atmosferica di gas ad effetto serra nel settore elettrico nazionale e nei principali paesi europei. Rapporti 317/2020.
  41. ISPRA, 2019. Greenhouse gas inventory 1990 – 2017. National Inventory Report 2019.
  42. Jayanegara, A., Leiber F., Kreuzer M., 2012. Meta-analysis of the relationship between dietary tannin level and methane formation in ruminants from in vivo and in vitro experiments. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 96:365-375.
  43. Lal R., 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304: 1623-1627.
  44. Lam S.K., Suter H., Mosier A.R., Chen D., 2017. Using nitrification inhibitors to mitigate agricultural N<sub>2</sub>O emission: a double-edged sword? *Global Change Biology*, 23: 485-489.
  45. Lovarelli D., Bacenetti J., Guarino M., 2020. A review on dairy cattle farming: is precision livestock farming the compromise for an environmental, economic and social sustainable production? *J. Cleaner Prod.*, 262: 121409.
  46. MAAF., 2012. Fiche BCAE VII - Maintien des particularités topographiques. Fiche conditionnalité 2013 - Domaine "BCAE".
  47. Machado L., Magnusson M., Paul N.A., de Nys R., Tomkins N., 2014. Effects of marine and freshwater macroalgae on in vitro total gas and methane production. *PLoS ONE*, 9: e85289.
  48. Migliorati L., Boselli L. 2013. Reduction of nitrogen excreted in dairy farms through the application of high N efficiency rations. p. 585 - ISBN: 978-90-8686-228-3. In ANNUAL MEETING OF THE EUROPEAN ASSOCIATION FOR ANIMAL PRODUCTION - ISSN: 1382-6077 vol. 19.
  49. Misselbrook T.H., Cardenas L.M., Camp V., Thorman R.E., William J.R., Rollett A.J., Chambers B.J., 2014. An assessment of nitrification inhibitors to reduce nitrous oxide emissions from UK agriculture. *Environ. Res. Lett.*, 9: 115006.
  50. Monteny G.J., Erisman J.W., 1998. Ammonia emission from dairy cow building: a review of measurement techniques, influencing factors and possibilities for reduction. *Neth. J. Agric. Sci.*, 46: 225-247.
  51. Montes F., Meinen R., Dell C., Rotz A., Hristov A.N., Oh J., Waghorn G., Gerber P.J., Henderson B., Makkar H.P.S., Dijkstra J., 2013. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: II. A review of manure management mitigation options. *J. Anim. Sci.*, 91: 5070-5094.
  52. Nagaraja T.G., Newbold C.J., van Nevel C.J., Demeyer D.I., 1997. Chapter 13. Manipulation of ruminal fermentation. In *The rumen microbial ecosystem*. P.N. Hobson e C.Ss Steward Eds. 2nd edition, pp. 523–632. Chapman and Hall, London, UK.
  53. National Research Council, 1981. Effect of environment on nutrient requirements of domestic animals. National Academy Press, D.C., U.S.A.
  54. Noftsker S., St-Pierre N.R., 2003. Supplementation of methionine and selection of highly digestible rumen undegradable protein to improve nitrogen efficiency for milk production. *J. Dairy Sci.*, 86: 958-969.
  55. O'Brien D., Herron J., Andurand J., Carè S., Martiez P., Migliorati L., Moro M., Pirlo G., Dollè J.-B., 2020. LIFE BEEF CARBON: a common framework for quantifying grass and corn-based beef farms' carbon footprint. *Animal*, 14(4): 834-845.
  56. Patra A.K., 2013. The effect of dietary fats on methane emissions, and its other effects on digestibility, rumen fermentation and lactation performance in cattle: a meta-analysis. *Livest. Sci.*, 155: 244–254.
  57. Pirlo G., Speroni M., 2020. Benessere animale e sostenibilità ambientale della produzione bovina. *Bianconero maggio-giugno n.3.*, pag. 26-28.
  58. Poeplau C., Don A., 2015. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 200: 33-41.



59. Pulina G., Acciaro M., Atzori A.S., Battacone G., Crovetto G.M., Mele Marcello, Pirlo G., Rassu S.P.G., 2021. Animal board invited review – Beef for future: technologies for a sustainable and profitable beef industry. *Animal*, 11: 100358.
60. Regolamento (UE) 2016/429 Del Parlamento Europeo e del consiglio del 9 marzo del 2016 relativo alle malattie animali trasmissibili e che modifica e abroga taluni atti in materia di sanità animale («normativa in materia di sanità animale») pubblicato in Gazzetta Ufficiale il 31 marzo 2016.
61. Russell J.B., Wallace R.J., 1997. Energy-yielding and energy-consuming reaction. In P.N. Hobson e C.S. Stewart (Eds.) *The rumen microbial ecosystem*, pp 246-282.
62. Sapolsky R.M., Romero L.M., Munck A.U., 2000. How do glucocorticoids influence stress responses? Integrating permissive, suppressive, stimulatory, and preparative actions. *Endocr. Rev.*, 21: 55-89.
63. Sauvant D., Giger-Reverdin S. 2009. Modélisation des intractions digestives et de la production de méthane chez les ruminants. *INRA Prod. Anim.*, 22: 375–384.
64. Sauvant D., Nozière P., 2013. La quantification des principaux phénomènes digestifs chez les ruminants: les relations utilisées pour rénover les systèmes d'unités d'alimentation énergétique et protéique. *INRA Prod. Anim.*, 26 (4): 327 - 346.
65. Schils R.L.M., Erksen J., Ledgard S.F., Velinga Th.V., Kuikman P.J., Luo J., Pedersen S.O., Velthof G.L., 2013. Strategies to mitigate nitrous oxide emissions from herbivore production systems. *Animal*, 7: 29-40.
66. Segerstrom S.C., Miller G.E., 2004. Physiological stress and human immune system: A meta-analytic study of 30 years of inquiry. *Phys. Bull.*, 130: 601-630.
67. Smith P., 2014. Do grasslands act as a perpetual sink for carbon? *Global Change Biology*, 20: 2708-2711.
68. Snyder C.S., Bruulsema T.W., Jensen T.L., Fixen P.E., 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 133: 247-266.
69. Soussana J.-F., Tallec T., Blanford V., 2009. Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. *Animal*, 4: 334-350.
70. Subharat S., Shu D., Zheng T., Buddle B.M., Kanek K., Hook S., Janssen P.H., Wedlock D.N., 2016. Vaccination of sheep with a methanogen protein provides insight into levels of antibody in saliva needed to target ruminal methanogens. *PLoS One*, 11: e0159861.
71. Terry S.A., Basarab J.A., Le Luo Guan, McAllister T.A., 2021. Strategies to improve the efficiency of beef cattle production. *Can. J. Anim. Sci.*, 101: 1-19.
72. UNEP-CCAC, United Nations Environment Programme and Climate and Clean Air Coalition, 2021. *Global methane assessment: benefits and costs of mitigating methane emissions*. Nairobi: United States Environment Programme.
73. Ungerfeld E.M., 2018. Inhibition of rumen methanogenesis and ruminant productivity: a meta-analysis. *Front. Vet. Sci.*, 5: 1–13.
74. Valli L., Pignedoli S., Pacchioli M.T., 2013, Emissioni in atmosfera. L'impronta che non si vede. *Conoscere per Competere*. N. 10, marzo 2013. Agenzia territoriale per la sostenibilità alimentare, agro-ambientale ed energetica. Progetto realizzato da Centro Ricerche Produzioni Animali - CRPA SpA con il finanziamento del Programma di Sviluppo Rurale dell'Emilia-Romagna 2007-2013, Misura 111 Azione 2 "Azioni trasversali di supporto al sistema della conoscenza". [http://www.crupa.it/media/documents/crupa\\_www/Pubblicazi/conoscer&competere/\\_conoscerexco.mpeter\\_n10.pdf](http://www.crupa.it/media/documents/crupa_www/Pubblicazi/conoscer&competere/_conoscerexco.mpeter_n10.pdf).
75. Valli L., Rossi L., Fabbri C., Sibilia F., Gattoni P., Dale B.E., Kim S., Garlock Ong R., Bozzetto S., 2017. Greenhouse gas emissions of electricity and biomethane produced using Biogasdoneright system: four case studies from Italy. *Biofuels, Bioprod. Bioref.* Doi: 1002/bbb.
76. Van Soest P.J., 1994. *Nutritional ecology of the ruminants*. Ithaca, NY, Cornell University Press.
77. Vasconcelos J.T., Greene L.W., Cole N.A, Brown M.S., McCollum F.T., Tedeschi L.O., 2006. Effects of phase feeding of protein on performance, blood urea nitrogen concentration, manure nitrogen: phosphorus ratio, and carcass characteristics of feedlot cattle. *J. Anim. Sci.*, 84: 3032–3038.

78. Willett W., Rockström J., Laken B., Springmann M., Lang T., Vermeulen S., Rarnett T., DeClerck F., Wood A., Jonell M., Clark M., Gordon L.J., Fanzo J., Hawkes C., Zurayk R., Rivera J.A., De Vries W., Sibanda L.M., Afshin A., Claudhary A., Herrero M., Agustina R., Branca F., Lartey A., Fan S., Crona B., Fox E., Bignet V., Troell M., Lindhal T., Singh S., Cornell S.E., Reddy K.S., Narain S., Nishtar S., Murray C.J.L., 2019. Food in the anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, 393: 447-492.
79. Yáñez-Ruiz D.R., Abecia L., Newbold C.J., 2015. Manipulating rumen microbiome and fermentation through interventions during early life: a review. *Front. Microb.*, 6: 1133, 25–36
80. Zavattaro L., Bechini L., Grignani C., van Evert F.K., Mallast J., Spiegel H., Sandén T., Pecio A., Giráldez Cervera J.V., Guzmán G., Vanderlinde K., D’Hose T., Ruyschaert G., ten Berge H.F.M., 2017. Agronomic effects of bovine manure: A review of long-term European field experiments. *Eu. J. Agronomy*, 90: 127-138.