

Come mitigare le emissioni nell'allevamento delle bovine

Strategie per ridurre le emissioni di metano

di **Giulia Foggi¹, Giulia Ferronato², Erica Fiorbelli³, Marco Battelli⁴, Luca Rapetti⁴, Alessia Federiconi⁵, Valentina Caprarulo², Andrea Formigoni⁵, Antonio Gallo³, Marcello Mele¹**

¹) Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali, Università di Pisa.

²) Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Ambiente, matematica (Dicatam), AgroFood Research Hub, Università degli Studi di Brescia.

³) Dipartimento di Scienze Animali, della Nutrizione e degli Alimenti (Diana), Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza.

⁴) Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali - Produzione, Territorio, Agroenergia, Università degli Studi di Milano.

⁵) Dipartimento di Scienze Mediche Veterinarie, Alma Mater Studiorum, Università di Bologna.

Nel perseguimento di questo obiettivo sono stati ottenuti risultati efficaci agendo sull'alimentazione delle bovine: variazione della composizione o della qualità della razione, inclusione di additivi, integrazione lipidica

Nel rapporto n° 384/2023 pubblicato dall'Ispra sono presenti le recenti stime di emissioni italiane dei gas serra (ghg), nello specifico riporta lo storico emissivo tra il 1990 e il 2021 a sua volta diviso per settore tra cui quello agricolo. I dati zootecnici utilizzati sono stati forniti dall'Istat sulla produzione annuale e il numero di capi degli allevamenti.

Il contributo del settore agricolo alle emissioni totali nazionali nel 2021 è di circa il 7,8% corrispondente alla emissione di 32,717 kt di CO₂ equivalente, riportando un calo del -13,2% (37,676 kt CO₂ eq.) rispetto al 1990. Il rapporto fa luce sul ruolo attivo del metano nel to-

tale emissivo del settore, esso è pari al 64,9% e suddiviso in fermentazioni enteriche (14,671 kt CO₂ eq.), gestione del letame (4,782 kt CO₂ eq.), coltivazione del riso (1,756 kt CO₂ eq.) e combustione in campo dei residui agricoli (16 kt CO₂ eq.). Per tale motivo la gestione degli allevamenti rappresenta il peso maggiore in termini emissivi. In particolare, rispetto al totale delle emissioni degli allevamenti i bovini da latte e gli altri bovini rappresentano il 35,1% e 33,5 %, rispettivamente, i suini il 12,19%, gli ovini l'8,4%, i bufalini il 5,1% e i caprini l'1%.

Tuttavia, nel periodo dal 1990-2021 è stata osservata una diminuzione delle emissioni di metano da fermentazione

enterica (-14,2%), e una diminuzione di N₂O dai suoli agricoli (-7,8%), che rappresenta il 28,2% delle emissioni settoriali. Le principali motivazioni alla base di tale decremento sono riconducibili alla riduzione del numero dei capi, in particolare dei bovini, la cui consistenza tra il 1990 e il 2021 è diminuita del 24% (passando da 7,8 a 5,9 milioni di capi), in particolare le vacche da latte sono diminuite del 39% e gli altri bovini sono scesi del 17%.

Metano, come viene prodotto

Il metano è prodotto nel rumine ad opera di microorganismi specializzati, chiamati metanogeni. I metanogeni si differenziano sulla base delle loro capacità di produrre metano (metanogenesi): alcuni sono in grado di utilizzare l'idrogeno (H₂) presente nel rumine prodotto a partire dalla degradazione della fibra (via idrogenotropica), altri utilizzano gruppi metili (via metilotropica), altri ancora l'acetato (via acetoclastica).

La via più utilizzata nel rumine è quella che prevede l'utilizzo di H₂ e anidride

carbonica (CO₂) essendo più energeticamente favorevole per i microbi coinvolti nella metanogenesi. Esistono, però, anche altri microorganismi che partecipano in modo diretto e indiretto nella produzione di metano creando un ambiente adatto per la sopravvivenza dei metanogeni o producendo substrati utili

a tali microbi.

I protozoi ciliati attraverso i loro processi fermentativi producono idrogeno in organuli chiamati idrogenosomi. Questo idrogeno viene captato dai microbi metanogeni, che si trovano in stretta associazione con i protozoi, e viene utilizzato per la formazione di metano.

Altri microorganismi coinvolti nella produzione di metano sono i batteri noti come fibrolitici, in grado di trasformare i polisaccaridi delle membrane cellulari dell'alimento in acidi grassi volatili, CO₂ e H₂. Questo meccanismo di cooperazione nei processi fermentativi e nell'utilizzo dei relativi prodotti di scarto tra gruppi diversi di microbi è fondamentale per il funzionamento dell'ecosistema ruminale.

La produzione di metano per i ruminanti, pertanto, è una esigenza fisiologica.

Come viene misurato

Il *gold standard* della misurazione di metano totale emesso da un singolo individuo è la camera respiratoria. Questa consente di misurare gli scambi respiratori con un grado di accuratezza molto elevato e in condizioni controllate (vedi tabella 1), in quanto tutti i gas emessi sono calcolati per differenza tra le concentrazioni di gas in ingresso e quelli in uscita e i relativi flussi sono noti.

Segnaposto
120.0mm x
185.0mm

La laboriosità, i costi e la necessità di personale altamente specializzato per effettuare le misurazioni, non sono aspetti che è stato possibile superare negli ormai oltre 100 anni di utilizzo della tecnica.

Tra i sistemi alternativi di acquisizione in continuo, l'utilizzo del tracciante esafluoruro di zolfo, emesso da un bolo ruminale, consente la valutazione delle emissioni enteriche anche da animali al pascolo.

I gas fermentativi, respiratori e il tracciante vengono raccolti, passando da un tubicino nasale, all'interno di un contenitore a tenuta, il quale è successivamente analizzato per composizione gassosa.

Tale sistema, seppur piuttosto accurato, rimane molto laborioso, giustificando l'avvento di sistemi di breve durata, con i quali il dato emissivo giornaliero è stimato a partire da acquisizioni spot (tabella 1). Tra questi, l'utilizzo delle ap-

parecchiature portatili quali la camera respiratoria semplificata (denominata *portable accumulation chamber*) e quello del GreenFeed, ovvero autoalimentatori opportunamente sensorizzati. La loro sempre più ampia diffusione consente di ottenere dati confrontabili a livello globale.

Tra le soluzioni portatili, il rilevatore laser di metano consente una buona stima della concentrazione di metano nell'aria e risulta utile, ad oggi, particolarmente per le comparazioni tra animali all'interno di uno stesso allevamento ai fini di valutazioni relative a trattamenti nutrizionali o rilievi fenotipici.

Come viene stimato

Le emissioni di metano enterico possono essere stimate utilizzando metodi diretti o indiretti.

I primi includono modalità prettamente utilizzate in condizioni sperimentali, che implicano generalmente elevati

investimenti, necessità di personale qualificato e possibili alterazioni delle condizioni di benessere e attività routinaria dell'animale.

Per ovviare a questi problemi e permettere la stima delle emissioni su larga scala sono utilizzati metodi indiretti che comprendono i diversi metodi di simulazione *in vitro* delle fermentazioni ruminali ed equazioni di predizione. Queste ultime sono state sviluppate a partire da prove sperimentali *in vivo* e permettono la stima del metano prodotto a partire da fenotipi animali reperibili a livello aziendale, quali acidi grassi del latte, peso corporeo, ingestione di sostanza secca.

Metodi ufficiali di stima

I metodi ufficiali per la stima delle emissioni enteriche a livello nazionale si basano sulla metodica Ipcc (2019) la quale permette di scegliere fra 3 approcci che differiscono per complessità e livello di

Segnaposto
120.0mm x
185.0mm

Tabella 1 - Caratteristiche relative all'utilizzo di varia strumentazione per la misurazione del metano enterico da ruminanti

	Camera respiratoria	SF6*	GreenFeed	Portable accumulation chamber	Analizzatore laser
Accuratezza	elevata	elevata	medio-elevata	medio-elevata	medio-ridotta
Ripetibilità	elevata	elevata	medio-elevata	medio-ridotta	medio-ridotta
Numero di animali	ridotto	medio	elevato	elevato	elevato
Facilità di utilizzo	ridotta	ridotta	medio-elevata	elevata	elevata
Costo	elevato	elevato	medio-elevato	ridotto	ridotto

*) La SF6 è una tecnica che sfrutta l'esfluoruro di zolfo come tracciante.

dettaglio delle informazioni necessarie e quindi grado di accuratezza delle stime stesse.

Tier 1. L'approccio Tier 1 è il più semplice e immediato da applicare e permette una stima rapida delle emissioni a livello regionale e nazionale.

Le informazioni necessarie ai fini della stima sono il numero di capi presenti per categoria animale (vacche in lattazione, vacche asciutte, rimonta) e il livello di produttività del sistema di allevamento (alta o bassa produttività). Il numero di capi viene poi moltiplicato per uno specifico fattore medio di emissione espresso come kg metano/capo/anno che varia in funzione del livello produttivo e all'area geografica di riferimento.

All'interno della categoria animale non sono considerate variazioni nella tipologia di management aziendale e gestione alimentare comportando la perdita di variabilità tra contesti zootecnici diversi.

Tier 2. L'approccio Tier 2 permette di ridurre le fonti di incertezza dell'approccio precedente utilizzando fattori di emissioni specifici per il contesto analizzato e non di default.

Questi vengono appositamente calcolati per singola categoria animale attraverso l'utilizzo di due informazioni fondamentali: energia grezza ingerita (Ge) e fattore di emissione di metano per unità di energia grezza ingerita (Y_m). La Ge viene calcolata attraverso specifiche formule che fanno riferimento al modello Nrc (2001) per ciascuna categoria considerando gli specifici fabbisogni in energia netta per ciascuna funzione fisiologica (produzione, mantenimento, accrescimento, ecc.). L' Y_m dipende invece dalle specifiche caratteristiche qualitative della dieta somministrata agli animali come la digeribilità dell'energia la

e percentuale di Ndf nella razione.

I fattori di emissioni sono poi moltiplicati per l'energia grezza ingerita da ciascuna categoria di bovini e per il numero di animali entro categoria al fine di ottenere le emissioni annuali. Questo approccio è quello adottato per la stima delle emissioni di metano enterico nazionale all'interno del report ISpra sulle emissioni nazionali.

Tier 3. Il Tier 3 è l'approccio consigliato in quei paesi per i quali le emissioni di bestiame sono particolarmente importanti e dove sia possibile raccogliere i dati aziendali riferibili a gestione alimentare e dell'allevamento.

L'approccio si basa su uno sviluppo ulteriore del Tier 2 nel quale è possibile aggiungere caratteristiche specifiche della dieta, prodotti della fermentazione ruminale, le variazioni stagionali della popolazione animale o della qualità e disponibilità dei mangimi e le possibili strategie di mitigazione.

Approcci modellistici

Esistono molti metodi di modellazione matematica in agricoltura; i più comuni sono quelli empirici/meccanici, stocastici/deterministici e statici/dinamici.

Nei modelli nutrizionali è possibile osservare un'incorporazione di metodi diversi, ma la semplicità dei modelli empirici è spesso il fattore dominante nella scelta di modelli per prevedere le emissioni di metano. I modelli empirici, basati su dati sperimentali, purtroppo, non sono in grado di spiegare i meccanismi biologici alla base di un fenomeno naturale, ma servono allo scopo di fare previsioni deterministiche. Un esempio di incorporazione è l'equazione di stima per bovine in lattazione proposta dal sistema NorFor prima, e

da Nasem (2021) poi. Tale espressione prevede la dipendenza delle emissioni enteriche dall'ingestione giornaliera in s.s. (Dmi), dagli acidi grassi della razione in % s.s. (Fa) e dalla fibra digeribile in % s.s. (dNdf), ovvero:

$$\text{CH}_4 \text{ (Mcal/d)} = 0,294 \times \text{Dmi} - 0,347 \times \text{Fa} + 0,0409 \times \text{dNdf}$$

I modelli meccanicistici rappresentano i processi sottostanti che controllano le emissioni e le loro interazioni. Esistono pochissimi modelli meccanicistici sviluppati per prevedere le emissioni di metano. Un modello meccanicistico dinamico progettato per simulare la digestione, l'assorbimento e il deflusso dei nutrienti nel rumine è stato sviluppato da Dijkstra et al. (1992). In questo, la produzione enterica di metano è stimata in relazione agli Agv prodotti con il tipo di substrato fermentato nel rumine.

Un'ulteriore versione del modello, nel quale si include l'effetto del pH-ruminale, è utilizzata come Tier3 nei paesi bassi.

Molly è un altro esempio di modello meccanicistico dinamico che simula la digestione del rumine e il metabolismo nelle vacche da latte. Il modello è sviluppato in modo simile a quello di Dijkstra et al. (1992), rappresentando macronutrienti, Agv e microrganismi come diversi pool, seppur Molly presenti un unico pool microbico, piuttosto che tre (amilolitici, fibrolitici e protozoi).

Nell'ambito del sistema Cornell Net Carbohydrate and Protein il modello matematico è stato sviluppato per prevedere gli Agv, pH ruminale e la stima del metano. Aggiunte successive al modello sono state incorporate nel Nasem (2016), tra cui l'impatto della pectina sul pH ruminale, le correzioni per l'azoto batterico e

l'ottimizzazione del pH ruminale in base ai tassi di degradazione e passaggio di carboidrati, Agv e lattato e alla capacità tampone derivante dalla produzione di saliva e dalla composizione del mangime. Il modello sviluppato dall'Istituto francese per la ricerca agrarie (Inra, 2018) serve come base nel metodo Tier3 per stimare le emissioni di metano dei sistemi di produzione stabulati e al pascolo, date le informazioni disponibili sul tipo di animale, sul livello di produzione e sulle caratteristiche della dieta e del consumo. Sebbene i modelli matematici meccanicistici rappresentino una forma più avanzata di previsione della produzione e delle emissioni di metano da parte dei ruminanti, ulteriori input mirati, come ad esempio lo spettro nel medio infrarosso del latte (Mir), potrebbero migliorare ulteriormente l'adeguatezza della prevedibilità di tali modelli.

Infatti, i processi metabolici comuni influenzano sia la quantità di metano erut-

tato sia la composizione del latte, valutabile appunto tramite la spettroscopia Mir in modo routinario e a costi limitati.

Strategie per ridurre le emissioni di metano enterico da parte della vacca da latte

Il fattore con maggiore rilevanza sull'intensità delle emissioni enteriche è, primo tra tutti, l'ingestione alimentare. Animali con un'ingestione più elevata, producono più metano, inoltre razioni con un maggior contenuto di fibra implicano la produzione di maggiori quantità di idrogeno e, pertanto, di metano.

In generale, una percentuale più elevata di foraggio nella dieta produce più metano (con variazioni significative in funzione della qualità del foraggio) mentre cereali e alimenti ricchi di grassi ne riducono la sua produzione giornaliera. Variazioni della composizione o della qualità della razione, inclusione di additivi sono risultati

efficaci per mitigare parte delle emissioni enteriche.

Purtroppo, ad oggi, non esistono metodi di stima delle emissioni di metano che tengano conto dell'inclusione nella razione di alimenti o di additivi a effetto mitigante.

Comunque, fra tali strategie possiamo segnalare quelle che riguardano:

- la qualità dei foraggi;
- il livello di inclusione dei concentrati;
- i lipidi;
- gli additivi.

Qualità dei foraggi

In accordo con l'equazione proposta dal modello Nasem 2021, all'aumentare del contenuto di fibra della razione aumenta anche la produzione giornaliera di metano della bovina. Tuttavia, aumentare la qualità dei foraggi è un'utile strategia per ridurre l'emissione di metano per kg di latte.

Infatti, all'aumentare della digeribilità dei

Segnaposto
120.0mm x
185.0mm

Tabella 2 - Potenziale di riduzione di metano associato all'utilizzo di alcuni additivi nella bovina da latte

Referenza	Additivo	Dosaggio	Riduzione metano
Stefenoni et al. (2021)	<i>Asparagopsis taxiformis</i>	0.5 % s.s.	fino al 65%
Belanche et al., 2020	Blend di oli essenziali commerciale	1 g/die per capo	13%
Duval et al., 2016	Mix commerciale di estratti tannini da quebracho e castagno	0.45 o 1.8% s.s.	<16% (CH ₄ g/kg s.s. ingerita)
Guyader et al. (2015)	Saponine del tè	0.5% s.s.	aumento +14%
Feng et al. (2020)	Nitrati	0.04-0.27 % s.s.	fino al 30%
Dijkstra et al., (2018)	3-NOP	60/80 ppm/die	22-39%

La tabella è estratta dal capitolo 4 del libro *Technology for Environmentally Friendly Livestock Production* (Springer, 2023) a cui si rimanda per ulteriori approfondimenti.

foraggi si assiste generalmente a un aumento delle performance dell'animale, ottenendo così una diluizione del metano emesso su una maggiore quota di latte prodotto. Una raccolta precoce del foraggio è un metodo efficace per aumentarne la digeribilità. Infatti, all'aumentare della maturazione, aumenta anche il contenuto di lignina del foraggio, con ripercussioni negative sulla digeribilità dell'alimento e in particolare della fibra.

In aggiunta, un maggior rapporto di carboidrati non fibrosi rispetto alla fibra aumenta la qualità del foraggio, rendendolo più digeribile. Naturalmente, anche i metodi di raccolta e conservazione dei foraggi impattano sulla qualità del foraggio e sulle conseguenti emissioni di metano da parte della bovina.

Livello di inclusione dei concentrati

Il rapporto foraggi:concentrati (F:C) ha ripercussioni sul metabolismo ruminale e sulla metanogenesi enterica. I concentrati apportano al rumine carboidrati rapidamente fermentescibili che risultano in una maggiore produzione di propionato, uno dei tre principali acidi grassi volatili (Agv). La via fermentativa del propionato, a differenza di quella dell'acetato e del butirrato, assorbe idrogeni, che altrimenti andrebbe ad alimentare la produzione di metano. Inoltre, una rapida fermentazione degli alimenti tende a ridurre il pH ruminale, influenzando negativamente la crescita dei protozoi che vivono in simbiosi con gli Archea, principali responsabili della metanogenesi.

Sebbene un aumento dei concentrati nella razione determini una riduzione del metano per kg di latte, è da tenere presente

che, in genere, i concentrati acquistati comportano un maggior impatto ambientale rispetto ai foraggi autoprodotti in azienda, influenzando negativamente il calcolo delle CO₂ equivalenti emesse per kg di latte.

Lipidi

Gli effetti mitiganti sul metano associati all'integrazione lipidica sono molteplici. Nel rumine, gli acidi grassi derivanti dai lipidi alimentari non sono fermentati ad Agv, pertanto, la quantità totale di sostanza organica fermentescibile diminuisce all'aumentare della concentrazione dei lipidi alimentari, determinando quindi una minor produzione di metano per kg di sostanza secca ingerita.

Data la loro struttura, i lipidi hanno anche un effetto di rivestimento sui carboidrati strutturali, limitandone conseguentemente la degradabilità, con un'entità variabile al variare del contenuto e tipologia di lipidi nella razione.

Un ulteriore effetto, seppur di minore entità, è dato dall'assorbimento dell'idrogeno (precursore del metano) da parte del processo di bioidrogenazione ruminale degli acidi grassi insaturi presenti nella dieta, che può ridurre il metano dell'1-2%. Precedentemente è stata riportata una progressiva riduzione di metano, espresso per kg di s.s. ingerita al giorno, circa del 2-6% quando il contenuto di lipidi nella razione veniva aumentato dall'1-7% s.s. della razione.

Additivi

Emergono alcune categorie di additivi come probiotici, 3-nitroossipropanolo (3-Nop), fitocomplessi e alghe tra le innovazioni finalizzate alla riduzione delle

emissioni di metano nei ruminanti.

Probiotici come *Bacillus*, *Bifidobacterium*, *Enterococcus*, *Lactobacillus*, *Propionibacterium*, *Bifidobacterium*, *Streptococcus Megasphaera elsdenii*, *Prevotella bryantii*, *Aspergillus* e *Saccharomyces* evidenziano effetti benefici nella riduzione di metano, digeribilità, pH ruminale e livelli di lattato.

L'inclusione di 3-Nop, in dosi da 40 a 340 mg/kg della sostanza secca, riduce mediamente il metano ruminale dal 18 al 39%, non compromettendo l'assunzione di sostanza secca e la digeribilità della fibra.

I fitocomplessi, come gli oli essenziali, tannini, saponine e flavonoidi sono in grado di ridurre il metano ruminale del 10%. Tannini e saponine hanno l'effetto maggiore, tuttavia, il loro utilizzo influenza la digeribilità dell'Ndf del 4-5%

Di alghe rosse (*Rhodophyceae*), brune (*Phaeophyceae*) e verdi (*Chlorophyceae*) ne esistono più di 13.000 specie.

L'inclusione dello 0,5-3,0% della macroalga rossa *Asparagopsis taxiformis* riduce il metano del 30-69%. L'alga è caratterizzata da alto contenuto in bromoformio, analogo alogenato del metano che ne riduce la formazione nel rumine. Tuttavia, sono stati rilevati residui di iodio e bromina nel latte bovino post-somministrazione. Inoltre, non è ancora chiaro il contributo del bromometano emesso dalle alghe come gas climalterante.

Pertanto, è necessario stabilire l'inclusione raccomandata di *Asparagopsis* per consentirne la sicurezza di utilizzazione alimentare e il reale effetto mitigante complessivo. La tabella 2 riassume il potenziale di riduzione di metano associato all'inclusione di alcuni additivi. ●