

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI
RISORSE NATURALI E AMBIENTE

Corso di laurea Triennale in
Scienze e Cultura della Gastronomia e della Ristorazione

**VISIONE PER UN FUTURO ALIMENTARE
SOSTENIBILE:
IL CASO DELLA CARNE IN VITRO**

Relatore

Prof. Franco Tagliapietra

Laureanda

Gaia Pelizzari

Matricola n.

1193142

ANNO ACCADEMICO 2021/2022

Indice:

	pagina
Abstract	5
Introduzione	6
1. Panoramica dell'impatto ambientale e dell'aumento della domanda di carne	7
1.1 Contributo del settore zootecnico sulla qualità dell'aria	7
1.2 Uso zootecnico del suolo e delle risorse idriche	14
1.3 Perdita di biodiversità	17
1.4 Aumento della domanda di carne a livello globale	19
2. La carne in vitro come possibile alternativa alla carne convenzionale	22
2.1 Le origini e le start up della carne in vitro	22
2.2 Il processo produttivo in vitro della carne bovina	25
2.3 Limiti tecnologici, economici e legali	28
2.4 Questioni etiche e religiose	32
2.5 Confronto sull'impatto ambientale fra la carne in vitro e la carne bovina	33
3. Due possibili strategie per ridurre l'impatto ambientale dei sistemi di allevamento	42
3.1 Migliorare la composizione e la digeribilità dei mangimi	42
3.2 Gestione efficace degli effluenti zootecnici: dai ricoveri degli animali allo spargimento in campo	48
4. Conclusioni	54
Bibliografia	56
Sitografia	59

Abstract

La produzione di carne in vitro si presenta a prima vista come una valida alternativa ai sistemi di produzione di carne convenzionale, non solo come risposta alla crescente domanda di carne ma anche a questioni etiche e di impatto ambientale. Di fatto, l'industria zootecnica ha un impatto significativo su numerosi fronti, tra cui il cambiamento climatico, la riduzione di qualità dell'aria e dell'acqua, la degradazione del suolo e la perdita di biodiversità. Tuttavia, i presunti vantaggi attribuiti alla produzione e al consumo di carne sintetica sono discutibili e non interamente condivisi dalla comunità scientifica e dalla opinione pubblica. Tanto è vero che le start up e le aziende si impegnano ad affrontare ostacoli di natura differente quali economici, tecnologici, ambientali, legali, etici e religiosi.

Nonostante la ricerca si sia direzionata verso lo sviluppo di un nuovo prodotto artificiale in sostituzione alla carne convenzionale, si può agire direttamente nei sistemi di allevamento già esistenti per ridurre l'impatto ambientale. Si propone un miglioramento della composizione e della digeribilità dei mangimi e un'ottimizzazione della gestione dei reflui zootecnici inseriti in un'ottica di economia circolare.

The in-vitro meat production seems to be a valid alternative to traditional meat production systems, not only as a response to the growing demand of meat but also to ethical questions and environmental impact. As a matter of fact, the zootechnical industry has a significant impact on several topics, such as climate change, the deterioration of air and water quality, soil degradation and the loss of biodiversity. Nevertheless, the alleged advantages of synthetic meat's production and consumption are arguable and not entirely accepted by the scientific community and the public opinion. It is also true that startups and companies are facing a variety of different issues, such as economical, technological, environmental, legal, ethical, and religious.

Even though research is pointing towards the development of a new artificial product as a substitute to traditional meat, it is possible to act directly into already existing breeding systems to reduce effects on the environment. An improvement of the composition and digestibility of animal feed is proposed in conjunction with an optimization of zootechnical waste management, within a view of circular economy.

Introduzione

L'industria zootecnica ha un'influenza significativa sull'equilibrio ambientale sia a livello locale che globale, infatti, rappresenta uno dei dibattiti più accesi negli ultimi decenni.

Gli effetti ambientali causati dall'allevamento degli animali da reddito si verificano lungo l'intero processo produttivo: dall'impiego del suolo destinato all'allevamento e alla produzione di mangimi, dalle emissioni enteriche e dalle deiezioni del bestiame stesso, dal processo produttivo e dal trasporto di beni dell'industria zootecnica fino alla gestione degli effluenti del settore.

Le attività zootecniche hanno un impatto su quasi tutti gli aspetti dell'ambiente tra cui il cambiamento climatico, la riduzione della qualità dell'aria e dell'acqua, la degradazione del suolo e la perdita di biodiversità.

La qualità dell'aria non è solamente compromessa dalle emissioni di gas a effetto serra, tra cui il metano, il protossido di azoto e l'anidride carbonica ma anche dal rilascio di ammoniaca, particolato e odori sgradevoli. L'accumulo di nutrienti in eccesso come azoto, fosforo, potassio, sodio e di metalli pesanti in particolare rame e zinco, inficiano l'ecosistema del suolo e la purezza dell'acqua.

Destano riflessioni e preoccupazioni la crescente domanda di carne influenzata dall'incremento demografico mondiale, dall'aumento dei redditi e dalle preferenze alimentari dei consumatori. Per i motivi sopra citati, lo scopo di questo elaborato è valutare se la produzione di carne sintetica rispecchia un'alternativa più sostenibile ai sistemi di carne convenzionale entro i limiti economici, legali, tecnologici, etici e religiosi. Si è ipotizzato se una possibile produzione su larga scala di carne sintetica sia in grado di soddisfare la domanda di carne della popolazione mondiale, attuale o futura, garantendo un regime di emissioni di gas a effetto serra ridotto.

Nello specifico, si è scelta la produzione di carne sintetica a partire da cellule staminali bovine (BSC's) in quanto i ruminanti sono responsabili della gran parte di emissioni di metano nonché i meno efficienti essendo posizionati ad un alto livello della catena trofica.

Nel panorama internazionale la possibilità teorica di sostituire la produzione su larga scala della carne convenzionale con un prodotto di sintesi ha destato gran fervore; numerosi sono gli investimenti finanziari destinati alle aziende e alle start-up per la ricerca e lo sviluppo di questa nuova tecnologia.

1. Panoramica dell'impatto ambientale e dell'aumento della domanda di carne

1.1 Contributo del settore zootecnico sulla qualità dell'aria

Si stima che il settore agricolo sia responsabile di circa 1/5 delle emissioni globali di gas serra misurate in CO₂ equivalente. L'industria del bestiame, (compresi i trasporti degli animali e dei mangimi) , rappresenta circa l'80% delle emissioni del settore.¹

Nel rapporto FAO Livestock's long shadow del 2006, è stato stimato che il settore è responsabile di una produzione di gas serra, equivalente al 18% delle emissioni globali prodotte dalle attività umane.

I gas serra sono presenti naturalmente nell'atmosfera ma sono sempre più di natura antropica, ciò provoca un aumento del riscaldamento della superficie terrestre e della bassa atmosfera. Il riscaldamento della superficie ha differenti conseguenze: scioglimento dei ghiacci, innalzamento e riscaldamento degli oceani, aumento di fenomeni atmosferici estremi, desertificazione e estinzione di specie animali e vegetali.

Per quantificare il riscaldamento globale dovuto dai gas serra viene comunemente impiegata come unità di misura il biossido di carbonio. In particolare, gli indicatori più utilizzati sono: il Global Warming Potential (GWP) e il Million Metric Tons of Carbon Dioxide Equivalents (MMTCDE).

L'indicatore GWP è il rapporto tra l'impatto causato da un gas serra rispetto a quello provocato dalla anidride carbonica nello stesso lasso di tempo (20,100 e 500 anni) e nella stessa quantità. Tanto più alto è il rapporto maggiore è l'incidenza del gas sul riscaldamento globale.²

L'indice MMTCDE utilizza come unità di misura il Carbon Dioxide Equivalency (CDE), ossia la quantità di milioni di tonnellate di CO₂ equivalente. Questo indicatore si calcola moltiplicando la quantità di tonnellate del gas inquinante per il valore di GWP del gas stesso.³

È opportuno citare anche il parametro Carbon footprint espresso in CDE, che quantifica le emissioni di un gas serra di un prodotto/servizio o organizzazione nel Life Cycle Assessment.

I principali gas serra implicati nel settore zootecnico sono il metano, il biossido di carbonio e il protossido di azoto.

¹ A. J. McMichael, J.W. Powles, C. D. Butler, R. Uauy, *Food, livestock production, energy, climate change, and health*, 2007.

² <https://www.ecoage.it/misura-effetto-serra.htm>.

³ *Idem*.

Il metano (CH₄), ha una vita media nell'atmosfera di undici anni e viene considerato come il secondo gas responsabile dell'effetto serra dopo l'anidride carbonica, trovandosi in quantità inferiori rispetto a quest'ultima. Il metano secondo il report IPCC del 2014⁴ ha un indice GWP100 pari a 28, ossia è 28 volte più inquinante della stessa quantità di CO₂ rilasciata. Nel settore zootecnico questo composto gassoso è emesso principalmente dalle fermentazioni microbiche dei ruminanti ed in secondo luogo dai reflui zootecnici, rappresentando circa l'80 % delle emissioni di metano agricolo e circa il 35-40% delle emissioni totali di metano antropogenico⁵.

Il biossido di carbonio (CO₂), è il principale gas serra per la sua elevata concentrazione atmosferica, pesando per più di $\frac{3}{4}$ sul riscaldamento climatico.⁶ Il settore agricolo veste un ruolo di secondo piano nella liberazione di CO₂ rispetto ad altri settori. Le emissioni più rilevanti derivano dalle industrie energetiche con l'impiego di combustibili fossili per la produzione di energia elettrica. L'attività zootecnica rappresenta il 9% delle emissioni di CO₂, tenendo conto della deforestazione dei terreni adibiti per i pascoli e le colture foraggere, e della degradazione dei pascoli.⁷

Il protossido di azoto (N₂O), è presente in piccole quantità nell'atmosfera ed è considerato il terzo gas serra più importante dopo il metano e l'anidride carbonica. Il protossido di azoto è responsabile dell'effetto serra ed in particolar modo dell'assottigliamento dello strato di ozono stratosferico. L'ozono stratosferico, esercita una funzione filtrante nei confronti delle radiazioni solari ultraviolette, considerate potenzialmente pericolose per la salute umana. Nonostante sia presente in piccole quantità nell'atmosfera, il protossido di azoto, risiede più a lungo rispetto agli altri gas serra ed ha un indice⁴ GWP100 di 265.

L'attività zootecnica libera il 65 % di protossido di azoto antropogenico, dallo stoccaggio e dal trattamento dei reflui animali. Inoltre, vanno considerate anche le emissioni legate all'utilizzo di concimi azotati nei terreni destinati alla produzione dei mangimi per gli animali da reddito⁵.

⁴ AR5 values: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter08_Final.pdf, pp. 73-79.

⁵ H. Steinfeld, P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales, C. de Haan, *Liststock's Long Shadow: Environmental Issue and Options*, Fao 2006, p. 112-114.

⁶ Commissione ASPA, *Controllo dell'impatto ambientale degli allevamenti animali*, 2009.

⁷ *Idem*.

TIPO DI EMISSIONI	TOTALE EMISSIONI DALLE ATTIVITÀ ANTROPICHE (10 ⁹ tonnellate di CO ₂ eq.)	DI CUI RELATIVE AD ATTIVITÀ ZOOTECNICHE
CO ₂	24	2,7
CH ₄	5,9	2,2
N ₂ O	3,4	2,2
EMISSIONI TOTALI	33	7,1

Tabella 1 fonte: H. Steinfeld, P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales, C. de Haan, *Listestock's Long Shadow: Environmental Issue and Options*, Fao 2006

Dei trentatré miliardi di tonnellate di gas serra emessi nell'ambiente dalle attività antropiche, oltre il 70 % è costituito da CO₂. Il metano rappresenta quasi il 18 % ed il 10 % è composto da N₂O.

Nello specifico, analizzando il totale delle emissioni causate dalle attività zootecniche, stimate a 7,1 miliardi di tonnellate, l'anidride carbonica rappresenta il 38 % delle emissioni, mentre il protossido di azoto e il metano ne costituiscono in egual misura il 31%.

Il settore contribuisce anche all'emissione di un inquinante atmosferico, l'ammoniaca (NH₃), un composto azotato volatile molto reattivo; se presente in eccessiva quantità risulta dannoso per le piante ed inquinante per l'acqua e l'aria. Questa sostanza è correlata a vari problemi ambientali come l'eutrofizzazione, l'acidificazione dei suoli e la formazione di particolato.

L'ammoniaca in presenza di umidità forma lo ione ammonio (NH₄⁺), l'accumulo di questo ione contribuisce all'acidificazione delle acque/ terreni e causa l'eutrofizzazione, ovvero una condizione di eccesso di nutrienti che porta alla proliferazione delle alghe. Inoltre, combinata con altri inquinanti atmosferici forma il particolato PM10, composto che può provocare disturbi respiratori e del sistema cardiovascolare.

Il settore zootecnico è responsabile di quasi 2/3 dell'emissione di ammoniaca antropica, dovuta dalla non corretta gestione dei reflui zootecnici e dall'uso improprio di fertilizzanti chimici e pesticidi impiegati per le colture foraggere.

Sono diverse le fonti di emissioni gassose che originano dagli allevamenti:

- **La liberazione di metano dalla fermentazione enterica dei ruminanti.**

Le fermentazioni microbiche avvengono nel rumine dei ruminanti, attraverso l'azione di microrganismi chiamati archei o archeobatteri che fermentano il 70-80 % della sostanza organica. Da questo processo vengono prodotti sostanzialmente acidi grassi volatili a corta catena (SCFA), successivamente assorbiti dalla parete ruminale ed utilizzati come fonte energetica dal ruminante. Durante queste fermentazioni, i microrganismi producono una certa quantità di idrogeno, che a sua volta viene trasformato in metano e liberato nell'ambiente. I ruminanti perdono circa il 5-10%

dell'energia proveniente dall'introito alimentare sotto forma di metano (95% per eruttazione e 5 % per flatulenze)⁸. Inoltre, un 10 % dell'energia viene persa sotto forma di calore di fermentazione; queste perdite contribuiscono a ridurre l'efficienza dell'utilizzazione della dieta da parte dei ruminanti.

La quantità di CH₄ prodotta dal bestiame dipende da vari fattori: dalla specie dell'animale e dal loro sviluppo, dalla composizione del mangime sia in termini di quantità che di qualità e da fattori ambientali come la temperatura. Pertanto, la valutazione delle emissioni di metano causate dalla fermentazione enterica, in un determinato Paese, richiedono uno studio dettagliato su diversi fattori che caratterizzano l'allevamento. Si può stimare all'incirca che in ventiquattro ore, una vacca erutta 500 litri di metano;⁹

- **La gestione dei reflui zootecnici con emissione di metano, protossido di azoto e ammoniacca.**

I reflui zootecnici consistono nell'insieme dei rifiuti prodotti da un allevamento di animali da reddito, si tratta di deiezioni liquide e solide, scarti di mangimi e acque usate per lavare e abbeverare gli animali. Si differenziano in reflui palabili che sono quelli solidi e in reflui non palabili che sono invece quelli liquidi; questi ultimi vengono introdotti all'interno di contenitori che possono essere: vasche interrato, vasche fuori terra, lagune e cisterne.¹⁰

Le emissioni di metano avvengono per la decomposizione anaerobica del materiale organico presente nei reflui zootecnici; questa si verifica soprattutto quando il letame viene gestito in stato liquido, ad esempio, nei serbatoi di stoccaggio. Queste emissioni se classificate per specie animale derivano principalmente dai reflui suini per il 48%, a seguire i reflui bovini per il 43 % e per il 9% da polli, bufali e piccoli ruminanti.¹¹

Per quanto riguarda il protossido di azoto, le emissioni avvengono durante la fase di stoccaggio e la gestione dei reflui; le quantità emesse durante queste fasi dipendono da diverse condizioni, ad esempio, la conservazione, la manipolazione, l'utilizzo dei rifiuti e dalla durata di quest'ultime operazioni. La produzione di protossido di azoto avviene dal momento in cui i reflui si trovano in un ambiente aerobico, permettendo all'ammoniaca di essere convertita in nitriti e nitrati (processo di nitrificazione).

⁸ G. Luneau, *Carne Artificiale? No, Grazie. La prima grande inchiesta sulle lobby del cibo in provetta*, Castelveccchi, 2021.

⁹ *Idem*.

¹⁰ <https://www.cisternemorvide.it/blog/-reflui-zootecnici-cosa-c-e-da-sapere-e-come-raccoglierli--n68>.

¹¹ Commissione ASPA, *Controllo dell'impatto ambientale degli allevamenti animali*, 2009.

Successivamente, in ambiente anaerobico, i nitrati e nitriti vengono ridotti ad azoto (processo di denitrificazione), con la formazione di due prodotti intermedi: perossido di azoto e ossido nitrico. Queste emissioni dipendono, dalle condizioni ambientali, dalle modalità e tempistiche della gestione dei reflui.

Gli escrementi appena rilasciati sul terreno, sia per deposizione diretta da parte degli animali che per spargimento meccanico, hanno elevati tassi di perdita di azoto con conseguente volatilizzazione dell'ammoniaca. La maggior parte delle emissioni di ammoniaca, si verificano nella prima fase di gestione del refluo, in quanto l'urea presente nelle urine si degrada rapidamente in ammoniaca. In secondo luogo, i nitrati, derivati dall'ossidazione dell'azoto presente in feci e urine, una volta distribuiti in campo sotto forma di concimi hanno un'elevata solubilità nel terreno, immagazzinandosi nelle acque sotterranee e raggiungendo negli anni elevate concentrazioni.

L'impatto del settore zootecnico sulla qualità dell'aria non è solo legato alle emissioni di sostanze gassose che contribuiscono al riscaldamento globale e alle piogge acide ma anche all'emanazione di cattivi odori originati principalmente dalla degradazione batterica delle deiezioni degli animali e dai loro mangimi.¹²Le emanazioni dipendono dalle condizioni climatiche e dalle stagioni; nella stagione estiva le emissioni sono maggiori poiché le temperature elevate favoriscono la degradazione batterica e la volatilizzazione dei composti. I composti principali sono: ammoniaca, zolfo, ammine, fenoli e acidi grassi volatili.

- **Il consumo di energia fossile e i cambiamenti dell'uso della terra con rilascio di CO₂.**

Le emissioni di CO₂ derivano in parte direttamente dalla respirazione del bestiame, anche se costituiscono solo una piccola componente del rilascio. Secondo il protocollo Kyoto, la quantità emessa dalla respirazione degli animali da reddito risulta compensata dall'anidride carbonica sequestrata dalle piante coltivate per l'alimentazione del bestiame¹³

Indirettamente, l'elevato consumo lungo la filiera di combustibili fossili aumenta il rilascio di CO₂. L'energia viene impiegata per la produzione ed il trasporto di prodotti e mezzi destinati agli allevamenti, come ad esempio medicinali e integratori per gli

¹² Commissione ASPA, *Controllo dell'impatto ambientale degli allevamenti animali*, 2009.

¹³ *Idem*.

animali, prodotti agrochimici (pesticidi e fertilizzanti) per le colture dei foraggi e attrezzature per la zootecnia. Inoltre, va considerata la CO₂ liberata dall'impiego di combustibili fossili, utilizzati per le diverse operazioni culturali necessarie per la produzione di mangimi.

Dal trasporto degli animali da macello, fino alla fase di stoccaggio dei prodotti finiti, ci sono numerosi costi energetici. Il rilascio di CO₂ legato alla produzione e al trasporto dei prodotti di origine animale dipende da due fattori caratteristici della produzione zootecnica di una determinata area geografica: tipo di economia (di sussistenza o di mercato) e destinazione commerciale (mercato internazionale o locale).¹⁴

L'attività zootecnica è responsabile di 2,7 miliardi di tonnellate di CO₂ liberate, il 34% è rappresentato dalla deforestazione (tramite processo di combustione) eseguita per fornire terreni adatti all'allevamento e alla coltivazione di mangimi.¹⁵

Secondo la Fao, ogni anno un miliardo e mezzo di tonnellate di mangimi vengono utilizzati dagli allevamenti intensivi. Per la produzione dei mangimi destinati agli animali da reddito sono utilizzate principalmente due colture: la soia come principale fonte proteica ed il mais come fonte energetica. La soia è destinata per l'80% alla produzione di farine di cui il 97 % è destinato ai mangimi animali.¹⁶

La coltivazione di soia in Amazzonia è considerata la seconda causa di deforestazione dopo i pascoli. Il Brasile è il principale produttore di soia, di preciso nello Stato del Mato Grosso vi sono piantagioni che coprono 38 milioni di ettari.¹⁷ Ecosistemi ricchi di biodiversità vengono distrutti come il Cerrado, il Chaco e il Pantanal.

Secondo un report della WWF¹⁸ pubblicato il 14 aprile 2021, l'Europa è tra i maggiori responsabili dell'importazione di prodotti che causano la deforestazione di ecosistemi tropicali e subtropicali. L'Ue tra il 2005 e 2017 ha causato indirettamente la deforestazione di 203 mila ettari di terreni naturali con l'emissione di 116 milioni di tonnellate di CO₂. Nel 2017 la Cina è stata responsabile del 24 % della deforestazione internazionale, seguita dall'Europa (16 %), dall'India (9%), dagli USA (7%) e dal Giappone (5%).

¹⁴ Commissione ASPA, *Controllo dell'impatto ambientale degli allevamenti animali*, 2009.

¹⁵ *Idem*.

¹⁶ B. Wedeux, A. Schulmeister-Oldenhove, WWF, *Stepping up: The continuing impact of EU consumption on nature*, 2021.

¹⁷ N. Galarraga, *Brasile: l'impero oscuro della soia*, la Repubblica, 2021

¹⁸ *Idem*.

Dunque, il fenomeno della deforestazione non dipende esclusivamente dall'inefficiente legislazione per la protezione degli ecosistemi attuata dai paesi produttori, bensì dalla pressione di conversione delle aree intatte in terreni agricoli da parte dei paesi importatori.

1.2 Uso zootecnico del suolo e delle risorse idriche

Il settore d'allevamento rappresenta, a livello mondiale, il maggiore fattore d'uso antropico delle terre. L'attività zootecnica occupa il 30 % dell'intera superficie terrestre non coperta dai ghiacci e il 70 % della superficie agricola mondiale.¹⁹

Vi sono diversi processi di degradazione del suolo che comportano nel tempo la perdita di efficienza dello stesso, ovvero la desertificazione, il calo della sostanza organica, la compattazione e la salinizzazione. Questi processi possono essere avviati da una cattiva gestione delle operazioni per produrre mangimi e foraggi, come una concimazione non proporzionata o un'eccessiva estrazione d'acqua sotterranea, nonché dalla eccessiva deforestazione.

Solitamente, il fenomeno della deforestazione per uso zootecnico è collegato ad un degrado dei suoli, dovuto all'eccessivo pascolamento con conseguenti fenomeni di compattazione ed erosione.

La compattazione avviene quando il suolo subisce una pressione eccessiva causata dal continuo calpestio degli animali e dall'utilizzo di macchinari pesanti per la coltivazione per lo più intensiva di mangimi per gli animali. La compattazione compromette la capacità del suolo di trattenere acqua e di ossigenare le radici delle piante, di conseguenza il terreno diventa più vulnerabile all'erosione.

L'erosione, oltre alla perdita del suolo, è responsabile della formazione di sedimenti nelle acque superficiali veicolando numerosi inquinanti che causano: eutrofizzazione, devastazione degli ecosistemi acquatici e dissesti idrogeologici.

In alcuni casi, l'attività zootecnica essendo collegata all'attività agricola per la produzione di alimenti destinati agli animali da reddito, è indirettamente responsabile dell'impiego eccessivo di reflui zootecnici e fertilizzanti sintetici rispetto al fabbisogno delle piante coltivate e alla capacità del suolo di trattenere i nutrienti.

Va precisato, che l'uso corretto di reflui zootecnici per fertilizzare i terreni è un fattore positivo poiché diminuisce l'impiego di fertilizzanti sintetici. Nel letame è presente una maggiore quantità di azoto organico che è meno mobile nel terreno rispetto alla forma inorganica, consentendone una disponibilità graduale per le colture. Infine, i concimi organici hanno la

¹⁹ Commissione ASPA, *Controllo dell'impatto ambientale degli allevamenti animali*, 2009.

capacità di migliorare diverse caratteristiche dei terreni come la ritenzione idrica e il mantenimento della sostanza organica.

Si verifica in alcuni casi, un impiego eccessivo di fitofarmaci nelle colture foraggere intensive; sostanze che se accumulate, inquinano il suolo e le acque compromettendo l'equilibrio ecologico.

Per discutere del rapporto tra zootecnia e risorse idriche è necessario tenere conto di due aspetti: innanzitutto, il fatto che l'aspetto quantitativo consiste nella quantità di risorse idriche impiegate per l'irrigazione delle coltivazioni destinate agli animali, per le operazioni di allevamento, in particolare per la pulizia, e anche per abbeverare gli animali; in secondo luogo, la circostanza secondo cui l'aspetto qualitativo è legato al rischio di inquinamento da parte di reflui zootecnici, pesticidi e fertilizzanti utilizzati per le colture destinate agli animali.

Per quanto riguarda il consumo, la produzione zootecnica globale è accusata di essere uno dei principali consumatori di acqua, necessitandone il 30 % del fabbisogno totale del settore agricolo.²⁰

Per analizzare l'utilizzo d'acqua da parte del settore zootecnico è fondamentale comprendere la differenza tra le risorse idriche verdi, blu e grigie. L'acqua verde, indica l'acqua proveniente dalle precipitazioni, la quale evapora o traspira nelle piante e nei terreni rimanendo nel suolo sotto forma di umidità. Nei bacini idrici, immagazzinata, troviamo l'acqua blu mentre la grigia è l'acqua necessaria per diluire gli inquinanti immessi in un corpo idrico a seguito di un'attività produttiva.

Numerosi articoli pubblicati dai mass-media affermano che, per produrre un kg di carne bovina servono 15.000 litri d'acqua e per produrre un litro di latte ne servono 1000. Questi ultimi dati vanno analizzati con attenzione in quanto oltre il 90 % sono rappresentati da acqua piovana. Solo il 2-8% deriva da acqua blu, utilizzata per manutenzioni, abbeverare gli animali e mescolare i mangimi²¹. È fondamentale considerare separatamente le risorse idriche blu e grigie da quelle verdi in quanto i dati dell'impronta idrica si ridimensionano enormemente, diventando per un kg di carne bovina 500-1000 litri e per un litro di latte 100-300 litri²².

La zootecnia incide anche sulla qualità dell'acqua in quanto, i reflui zootecnici, l'utilizzo di fertilizzanti e pesticidi per la produzione di foraggi, determinano un aumento del rischio di

²⁰ Y. Ran, M. Lannerstad, M. Herrero, C.E. Van Middelaar, I.J.M De Boer, *Assessing water resource use in livestock production: A review of methods*, 2016.

²¹ *Idem*.

²² B. Ronchi, G. Bittante, V. Dell'Orto A. Formigoni, N. P. P. Macciotta, M. Mele, G. Piva, G. Pulina, S. Sevi Accademia dei Georgofili Comitato Consultivo "Allevamenti e prodotti animali", Documento per audizione Commissione e Agricoltura e produzione agroalimentare, Senato della Repubblica, 2 febbraio 2021-14.00-15.00, "Allevamenti, sostenibilità ambientale e cambiamenti climatici".

rilascio di composti dell'azoto nelle acque superficiali e nelle falde. I nitrati, derivati dall'ossidazione dell'azoto presente in feci e urine, una volta distribuiti in campo sotto forma di concimi hanno un'elevata solubilità nel terreno, immagazzinandosi nelle acque sotterranee e raggiungendo negli anni elevate concentrazioni.

La presenza di nitrati nelle acque potabili può provocare un'intossicazione che si manifesta con la sindrome del cosiddetto "bambino blu". Dopo l'ingestione, i nitrati vengono convertiti in nitriti, che si legano ad alta affinità all'emoglobina formando la metaemoglobina, incapace di trasportare ossigeno.²³

L'inquinamento delle falde acquifere può essere causato anche dall'uso inappropriato di medicine veterinarie, metalli pesanti e fitosanitari, utilizzati per la coltivazione dei foraggi destinati agli animali da reddito.

²³ N. Galan, R.N., *What is blue baby syndrome?* Medical News Today, 2018.

1.3 Perdita di biodiversità

La biodiversità consiste nella varietà di specie animali e vegetali sul nostro pianeta. Negli ultimi decenni è in atto un processo per cui questa varietà sta scomparendo a ritmi allarmanti a causa dell'introduzione di specie invasive, dell'inquinamento, dei cambiamenti climatici e dell'uso intensivo del suolo.

Gli allevamenti intensivi contribuiscono alla perdita della biodiversità animale; si inseriscono negli ecosistemi naturali compromettendo o sottraendo terreni dalla disposizione della fauna autoctona. Anche il bestiame stesso, responsabile dei processi di deforestazione e desertificazione, contribuisce in modo determinante ai processi sopra citati. All'incirca il 26% della superficie terrestre è destinata agli animali da reddito e approssimativamente il 21% della superficie coltivabile è riservato alla coltivazione di mangimi destinati agli animali²⁴.

L'importazione di razze animali da reddito in luoghi destinati all'allevamento ha condotto una progressiva contaminazione od alla perdita delle risorse genetiche proprie delle razze autoctone, con conseguente riduzione della biodiversità e del processo di selezione naturale.

Nel corso dei millenni, i fenomeni di domesticazione, migrazione, mutazione, selezione naturale e artificiale, hanno contribuito essi stessi alla differenziazione di numerose specie animali allevate ed alla determinazione delle loro caratteristiche morfologiche nonché produttive, oggi definita col termine "biodiversità zootecnica".

Secondo un rapporto della FAO del 2007, sono 7616 le razze animali registrate nel mondo di cui 690 sono classificate come estinte e 1491 sono tutt'ora considerate a rischio estinzione¹¹.

L'Europa e il Caucaso sono le aree geografiche a maggior rischio di estinzione di specie animali. In esse, insieme al Nord America, è presente la maggior concentrazione di allevamenti intensivi di razze poche diffuse a livello internazionale.²⁵

Il mantenimento della biodiversità animale e della variabilità genetica è fondamentale poiché essa rappresenta il meccanismo attraverso cui l'uomo, emulando i processi di selezione naturale, può intervenire in diverse condizioni, come ad esempio il diffondersi di malattie, al fine di preservare la razza. Inoltre, la ricerca basata sull'individuazione di geni che condizionano le caratteristiche produttive e riproduttive, ha maggior successo disponendo di una elevata variabilità genetica all'interno della specie, in particolar modo razze con caratteristiche il più possibile diverse.

²⁴ Commissione ASPA, *Controllo dell'impatto ambientale degli allevamenti animali*, 2009.

²⁵ D. Bigi, A. Zanon, *Atlante delle razze autoctone, Bovini, Equini, Ovicapri, Suini allevati in Italia*, 2020.

L'attività zootecnica contribuisce indirettamente alla perdita di biodiversità vegetale, attraverso l'adozione di sistemi intensivi delle colture per la produzione dei mangimi destinati agli animali. Questi sistemi sono caratterizzati da monoculture o da rotazioni colturali poco variate. La mancanza di varietà porta alla necessità di largo uso di fitofarmaci per parassiti o malerbe, che comportano una riduzione della biodiversità animale ma anche vegetale.

Inoltre, in base all'intensità del pascolamento ed alla eterogeneità delle razze animali coinvolte, si verifica un cambiamento nella vegetazione portata dal calpestio, dalle deiezioni e dalla necessità alimentare degli animali. Va precisato che se il pascolamento venisse condotto correttamente, la biodiversità ne sarebbe meno inficiata.

1.4 Aumento della domanda di carne a livello globale

I nostri antenati vivevano nelle foreste e mangiavano frutta, tuberi, radici, insetti, vermi, pesci, molluschi, crostacei, miele e piccoli vertebrati. Con l'acquisizione della stazione eretta (capacità di camminare su due arti e aumentare la velocità) gli ominidi cominciarono a uscire dalle foreste e a conquistare nuovi habitat.

Per tutto il Mesolitico i nostri antenati erano raccoglitori e cacciatori, ma ancora oggi ci sono delle popolazioni nel mondo che vivono in condizioni "primitive", che hanno un tipo di sostentamento basato sulla raccolta e sulla caccia, come ad esempio, i pigmei, popolazioni dell'Amazzonia.

I cacciatori trovavano abbondanza di prede soprattutto seguendo le mandrie selvatiche migranti nelle praterie. Essi identificano le specie animali più facili da cacciare e più nutrienti e le loro fasi virtuali: fecondazione, gravidanza, nascita, crescita, pubertà, ingrassamento/dimagrimento, parto, invecchiamento e morte. Inoltre, osservavano le caratteristiche ambientali in cui queste specie si ambientavano e producevano di più (abbondanza di foraggio, acqua di abbeverata, fotoperiodo, temperatura, scarsa competizione con altre specie, malattia e parassiti).

Proprio nel Neolitico nacque il pastoralismo, gli uomini cominciarono a considerare gli animali non prede da abbattere ma fonti di cibo da difendere, preservare e utilizzare in modo sostenibile nel tempo. Cominciavano ad avere contatti più stretti con gli animali, guidando le mandrie invece di seguirle e selezionando gli animali da abbattere e quelli da tenere per la riproduzione. È quindi da millenni che gli animali rappresentano una risorsa alimentare ed energetica fondamentale per l'uomo.

Come affermato in un convegno presso l'Accademia Nazionale dei Lincei ²⁶, la zootecnia ha sempre avuto un ruolo sociale e culturale poiché essa rappresenta una fonte di reddito difficilmente sostituibile, produce circa il 40 % del PIL del settore agroalimentare mondiale e dà lavoro a circa 1,3 miliardi di individui nel mondo. Inoltre, contribuisce a mantenere in vita antiche tradizioni.

²⁶ Accademia Nazionale dei Lincei, Convegno, *Raccogliere i benefici della Scienza per la sostenibilità nelle produzioni zootecniche*, 25-26 gennaio 2022.

Negli ultimi decenni la domanda globale di carne sta aumentando come conseguenza dell'aumento della popolazione umana, della crescita dei redditi e delle preferenze alimentari dei consumatori. Secondo la Fao il consumo di carne è destinato a crescere oltre il 70 % entro il 2050 a causa dei fattori sopra elencati.

Negli ultimi si è registrato un importante aumento della produzione di carne a scopo alimentare, passata dai 70 milioni di tonnellate dei primi anni '60 ai quasi 377 milioni del 2019.²⁷

La popolazione mondiale, dagli anni '60 ad oggi, è raddoppiata passando da 3 miliardi a circa 7,8 miliardi²⁸. Contemporaneamente, in molti Paesi del mondo è aumentata la disponibilità economica delle persone con conseguente aumento del consumo di carne. Nel 2014, è stato pubblicato sulla rivista "Nature"²⁹ uno studio che analizza il rapporto tra il PIL pro capite ed il consumo alimentare in grammi di proteine derivate dalla carne. Sono stati presi in considerazione sei macro-gruppi economici (in base al PIL), Cina ed India.

Va precisato, che gli studiosi hanno utilizzato il valore costante dei dollari nel 1990 per confrontare dati di periodi diversi a causa del mutamento del valore e del potere d'acquisto della moneta.

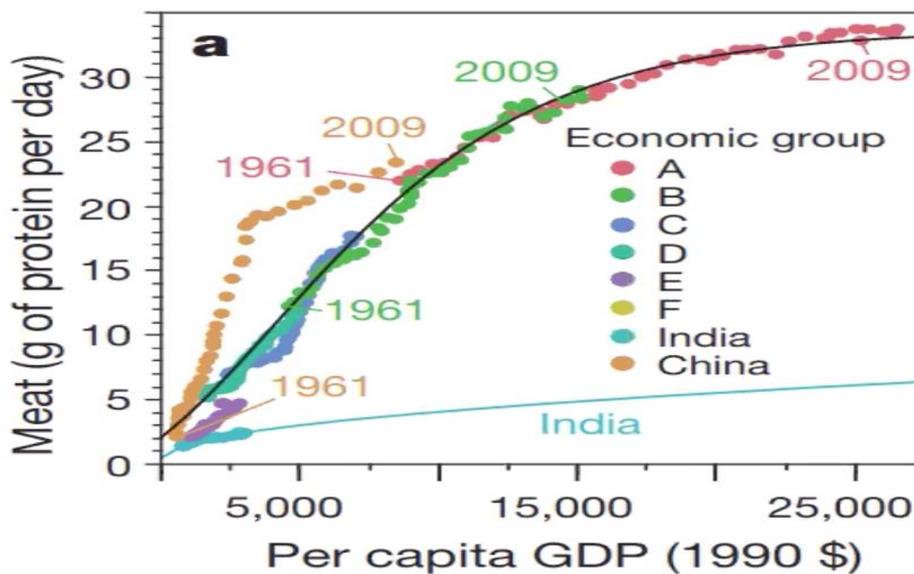


Figura 1 ogni punto rappresenta un dato annuale nel periodo 1961-2009 per India, Cina e sei gruppi economici contenenti altre 98 nazioni.

²⁷ I. Pratesi, E. Alessi, *Dalle pandemie alla perdita di biodiversità dove ci sta portando il consumo di carne*, WWF Italia, 2021.

²⁸ *Idem*.

²⁹ D. Tilman, M. Clark, *Global diets link environmental sustainability and human health*, Nature 515, 518–522 (2014).

Si può notare che dai Paesi meno ricchi a quello più ricchi del gruppo A, si passa circa da un consumo di 25 a 35 grammi di proteine derivate dalla carne al giorno. Generalmente i Paesi più poveri appartenenti al gruppo F consumano all'incirca 5 g di proteine al giorno derivate dalla carne mentre i Paesi più ricchi 35 grammi.

La curva rappresenta la tendenza globale del consumo di carne nel mondo all'aumentare del livello di ricchezza nella popolazione. Eccezione fatta per l'India, in cui il consumo della carne aumenta in maniera molto limitata, anche in risposta ad aumenti consistenti del reddito; questo come conseguenza delle abitudini socioculturali radicate nel sub-continente indiani che prediligono i prodotti lattiero caseari. In questo Paese un aumento del reddito determina un aumento del consumo di latticini.

Opposto è il caso della Cina in cui un piccolo aumento del reddito provoca un enorme aumento del consumo della proteina della carne per poi rallentare e ritornare nella traiettoria degli altri Paesi. Escludendo il caso dell'India e della Cina, il reddito delle famiglie è direttamente proporzionale al consumo di carne.

2. La carne in vitro come possibile alternativa alla carne convenzionale

2.1 Le origini e le start up della carne in vitro

Risale al 1930, la prima visione di una possibile produzione di carne artificiale, quando il politico Frederick Edwin Smith nel libro intitolato *The World in 2030* scrisse “*It will no longer be necessary to go the extravagant length of rearing a bullock in order to eat its steak. From one “parent” steak of choice tenderness, it will be possible to grow as large and as juicy a steak as can be desired*”³⁰. Solo un anno dopo Winston Churchill nel suo saggio “*Fifty Years Hence*” pubblicato su *Macleans Magazine* affermò “*Fifty years hence we shall escape the absurdity of growing a whole chicken in order to eat the breast or wing by growing these parts separately under a suitable medium.*”³¹

Nella prima metà del XX secolo le tecniche per la coltivazione cellulare erano in fase di sviluppo, per questo motivo la possibilità teorica di coltivare carne catturò a lungo l’attenzione del pubblico.

Tra la fine degli anni Cinquanta e l’inizio degli anni Sessanta, lo scienziato olandese Willem Van Eelen iniziò ad osservare le tecniche di coltura tissutale³. Solo dopo il 1981, quando furono scoperte le prime cellule staminali murine, egli riconobbe il valore di una possibile futura produzione di carne coltivata, considerandole un ottimo punto di partenza. Capendo il potenziale, Willem strinse una partnership per creare un processo di produzione della carne coltivata, anche se il lavoro non ebbe successo, depositò diversi brevetti nei Paesi Bassi e negli Stati Uniti³.

Inoltre, a partire dagli anni 2000, Van Eelen fu dedito nel convincere il Ministero dell’Economia olandese a finanziare il primo consorzio nazionale di scienziati per la ricerca destinata alla produzione di carne sintetica. Per merito di Van Eelen, ebbe così inizio la ricerca volta allo sviluppo di tecnologie per la produzione di carne artificiale e negli anni successivi si ottennero i primi risultati, tra cui l’ottimo lavoro di Mark Post.³²

Il primo pezzo di carne realizzato al 100% da muscoli ingegnerizzati, venne prodotto nel 2013 dal co-fondatore di Mosa Meat, Mark Post e dai suoi colleghi della Maastricht University in Olanda.

³⁰F. E. Smith, *The World of 2030 A.D.*, p. 19.

³¹ W. Churchill, *Fifty Years Hence*, *Macleans Magazine*, H. Napier Moore, W. A. Irwin, 1931, p. 66.

³² B. A. Wurgajt, “*Godfather of Cultured Meat*” *Willem Van Eelen Passes Away at 91*, 2015.

Post e i suoi colleghi lavorarono per più di nove mesi per lo sviluppo di tre hamburger ingegnerizzati uno dei quali venne cucinato e assaggiato durante una conferenza stampa a Londra dallo stesso Mark Post, dallo scrittore Josh Schonwald e dalla ricercatrice Hanni Rützler di Future Food Studio. Ogni hamburger valeva all'incirca 250 mila dollari³³. Il costo fu supportato da un finanziamento di Sergey Brin co-fondatore di Google.

Ad oggi, ci sono all'incirca cento start up che si impegnano nel lanciare sul mercato la carne coltivata ma anche altri prodotti, tra cui pesce coltivato, latte e uova sintetiche, accomunati dall'obiettivo di creare una filiera industriale attraverso cui attuare economie di scala così da ridurre i costi.

Tra le realtà più conosciute troviamo, oltre Mosa Meat, Memphis Meats, Modern Meadow, Finless Foods, Super Meat, Future Meat Technologies e Eat Just.

L'azienda statunitense Memphis Meats nel 2020 ha ricevuto 161 milioni di dollari, un finanziamento guidato da SoftBank Group, Temasek Holdings e Norwest Venture Partners.³⁴ Inoltre, partecipano all'investimento anche Richard Branson e le multinazionali americane Tyson e Cargill; queste ultime sono tra le principali protagoniste della industria della carne.

Un'altra azienda statunitense è Finless Foods, il cui progetto di ricerca è finalizzato sull'ingegneria dei tessuti simili alla carne di pesce come, ad esempio, tonno rosso e gamberetti. Super Meat e Future Meat Technologies, entrambe israeliane nel 2017 hanno ricevuto in beneficio di un accordo commerciale con la Cina ben 300 milioni di dollari per abbattere i consumi di carne promuovendo una futura produzione di carne coltivata.⁶

La start up californiana Eat Just, fondata da Josh Tetrick, deve il suo successo alla produzione di sostituti vegetali delle uova come Just Mayo e Just Egg. Nel 2020, a Singapore, è stata la prima azienda a ricevere l'autorizzazione a commercializzare nei suoi ristoranti i nuggets di pollo. Queste ultime sono prodotte in laboratorio partendo da cellule staminali e fagiolo mungo che gli conferisce la giusta consistenza.³⁵ Nel 2021, Eat Just ha beneficiato di un finanziamento di circa 200 milioni di dollari da Qatar Investments Authority (fondo sovrano dello stato del Qatar).³⁶

³³ G. Baldi, M. Petracci, *Fra sostenibilità e innovazione le Alternative alle proteine Animali*, Food Hub magazine, aprile-giugno 2019.

³⁴ P. Paramasivam, *Lab-grown meat producer Memphis Meats raises \$161 million in funding led by SoftBank*, 2020.

³⁵ G. Luneau, *Carne Artificiale? No, Grazie. La prima grande inchiesta sulle lobby del cibo in provetta*, Castelvechi, 2021.

³⁶ <https://www.efanews.eu/item/17910-proteine-in-provetta-eat-just-chiude-finanziamento-da-200-milioni-di-dollari.html>.

Nel 2021, alle aziende olandesi Nutreco e Mosa Meat, tramite il fondo europeo di sviluppo regionale (FESR), è stato erogato un finanziamento di 2 milioni di euro di cui 1.491.706 euro provenivano dal programma REACT-EU.³⁷ Questo programma di investimento era stato avviato dall' UE per rispondere alla crisi generata dall'emergenza sanitaria COVID-19 e contribuire a una ripresa verde e digitale dell'economia. Tuttavia, il finanziamento che è stato concesso per lo sviluppo della tecnologia cellulare ha generato diverse preoccupazioni ai consumatori e produttori agricoli italiani. Tra cui l'associazione Coldiretti che afferma *“È inaccettabile che l'Unione europea finanzia con risorse pubbliche il business privato della carne in provetta dietro il quale si nascondono rilevanti interessi economici e speculazioni internazionali dirette a sconvolgere il sistema agroalimentare mondiale”*³⁸

Dunque, nello scenario internazionale numerosi sono gli investimenti concessi alle start-up che si impegnano nello sviluppo della produzione di carne sintetica come alternativa alla carne convenzionale.

³⁷ S. De Meo, L. Vuolo, A. Caroppo, Interrogazione con richiesta di risposta scritta E-004976/2021 alla Commissione, Articolo 138 del Regolamento, *Finanziamento europei destinati alla produzione di carne in vitro*.

³⁸ <https://www.agrifoodtoday.it/innovazione/finanziamenti-carne-vitro.html>

2.2 Il processo produttivo in vitro della carne bovina

È importante specificare che quando si parla di carne coltivata, non ci si riferisce a un prodotto specifico ma ad un approccio biotecnologico che può essere applicato a qualsiasi tipo di carne (bovina, suina, ovina, equina e avicola) e anche ai prodotti ittici.

In generale, la carne coltivata è definita come il prodotto che si ottiene dalla coltura in vitro o in bioreattori di cellule staminali prelevate dagli animali. In biologia cellulare, una cellula staminale è una cellula non specializzata che possiede due proprietà: è in grado di generare per differenziazione cellulare delle cellule specializzate (pluripotenza) ed è capace di riprodursi in maniera continua mantenendo sempre lo stesso stadio di differenziazione (autorinnovamento)³⁹. In linea generale, ogni tipo di cellula staminale, grazie alle proprietà che possiede sopra citate, potrebbe essere utilizzata per la produzione della carne artificiale. Tuttavia, nella produzione di carne coltivata l'obiettivo è quello di ottenere un particolare tipo di cellula, i miotubi, che compongono il tessuto muscolare dei mammiferi. Per questo motivo, tra le varie cellule staminali (cellule staminali embrionali, cellule staminali adulte, cellule miosatelliti o mioblasti) vengono principalmente utilizzate cellule staminali in grado di differenziarsi facilmente in questo fenotipo, le cellule satelliti⁴⁰. Queste ultime, sono presenti nel muscolo dei bovini come in qualsiasi altro muscolo dei mammiferi, sono cellule mononucleate situate precisamente nel sarcolemma tra la membrana plasmatica della fibra muscolare e la lamina basale, in questa zona sono normalmente inattive quindi non proliferano e non si differenziano. Nel caso in cui il muscolo è lesionato queste cellule hanno la funzione di ripristinarlo: si attivano, fondendosi tra di loro e differenziandosi formano nuovi miotubi.

Una caratteristica fondamentale delle cellule miosatelliti è la “dipendenza dall'ancoraggio” ciò significa che necessitano di un supporto stabile che permetta una corretta proliferazione delle cellule in vitro. In natura, la maggior parte delle cellule dei mammiferi si connettono con altre cellule e con la matrice extracellulare attraverso proteine trans membrana. Precisamente tramite, le caderine che sono quelle coinvolte nell'interazione cellula-cellula e le integrine che mediano i legami cellula-matrice extracellulare. Le cellule non sono in grado di legarsi direttamente a materiali sintetici come i piatti da laboratorio o gli idrogel usati come impalcatura ma solo a proteine. Questo problema nella coltura cellulare viene spesso risolto con l'aggiunta di peptidi nei materiali o con un rivestimento proteico.

³⁹ <https://www.fondazionetes.it/cellule-staminali>.

⁴⁰ <https://www.kodami.it/carne-coltivata-in-laboratorio-perche-deve-essere-unalternativa>.

Il processo di produzione della carne coltivata varia a seconda delle tecniche impiegate dunque mi sono incentrata nel descrivere il processo produttivo della carne coltivata in vitro bovina, che si suddivide in tre fasi:

- La prima fase consiste nell'isolamento **delle cellule satelliti bovine (BSCs)**, estratte da un campione di tessuto muscolare ottenuto con la biopsia di muscoli di bovini vivi o macellati. Dopo aver ricavato il campione, esso viene trattato con un processo enzimatico per disaggregare il tessuto ottenendo una miscela che viene filtrata per separare le cellule satelliti dal resto composto. I filtri che vengono impiegati selezionano solo in base alle dimensioni delle cellule, infatti, nella sospensione filtrata sono presenti non solo cellule satelliti. Per questo motivo, viene utilizzato, ad esempio, il FACS (Fluorescent Activated Cell Sorter) un sistema computerizzato che analizza campioni di cellule sfruttando anticorpi funzionalizzati con marcatori fluorescenti specifici per riconoscere e ordinare le cellule.
- Una volta isolate le cellule, queste vengono seminate su piastre di Petri o su T-flasks per farle **proliferare**. Questi materiali sono in polistirene e vengono trattati per migliorare l'attaccamento cellulare alla loro superficie. Nonostante l'utilizzo di questi materiali trattati, le cellule satelliti hanno mostrato un basso attaccamento a queste superfici. Per questo motivo, prima di iniziare la semina, viene utilizzato un rivestimento proteico come il collagene, che rende più agevole il fissaggio delle cellule.

Dopo aver realizzato il rivestimento, le cellule vengono seminate sul supporto insieme al terreno di coltura noto anche come mezzo di crescita. Quest'ultimo è un fluido, necessario per la sopravvivenza e la crescita delle cellule, che può contenere diversi nutrienti (glucosio, amminoacidi, vitamine, sali minerali), fattori di crescita (TGFB, FGF IGF) e ormoni (insulina, ormoni tiroidei e/o ormoni della crescita).⁴¹ Per rendere più efficace la proliferazione delle cellule il supplemento più impiegato nella coltura cellulare è il siero fetale bovino (FBS)

Le colture vengono messe all'interno di un'incubatrice che viene settata a un determinato range di temperatura e composizione dell'aria adatte alla crescita cellulare.

Infine, per ottenere delle colture con la densità cellulare desiderata e che mantengano la caratteristica della staminalità si adottano "passaggi cellulari" ossia il distacco e la risemina delle cellule in nuove piastre.

⁴¹ J.F. Hocquette, *Is in vitro meat the solution for the future?* Meat Science Volume 120, 2016, pp. 167-176.

- L'ultima fase consiste nella **differenziazione delle cellule staminali in cellule muscolari** che in seguito danno origine alle fibre muscolari (miofibrille). Questo processo può essere effettuato con due metodi differenti:

- **con la coltura cellulare 2D**, le colture si differenziano su una superficie bidimensionale come, ad esempio, le piastre di Petri o T-flasks. Durante il processo di differenziamento vengono impiegati mezzi di coltura diversi da quelli della proliferazione.

- **con la coltura cellulare 3D**, le cellule vengono incorporate all'interno di un idrogel 3D, imitando la loro fisiologica matrice extra cellulare. Vengono seminate in una particolare multiwell trattata con idrogel; in ogni pozzetto viene disposto un piccolo pilastro che crea tensione meccanica portando le cellule ad allinearsi e differenziarsi in cellule muscolari.

Lo svantaggio dell'utilizzo della coltura 2D consiste in una limitata differenziazione cellulare a differenza della matrice tridimensionale in cui le cellule riproducono più da vicino la fisiologia del tessuto.

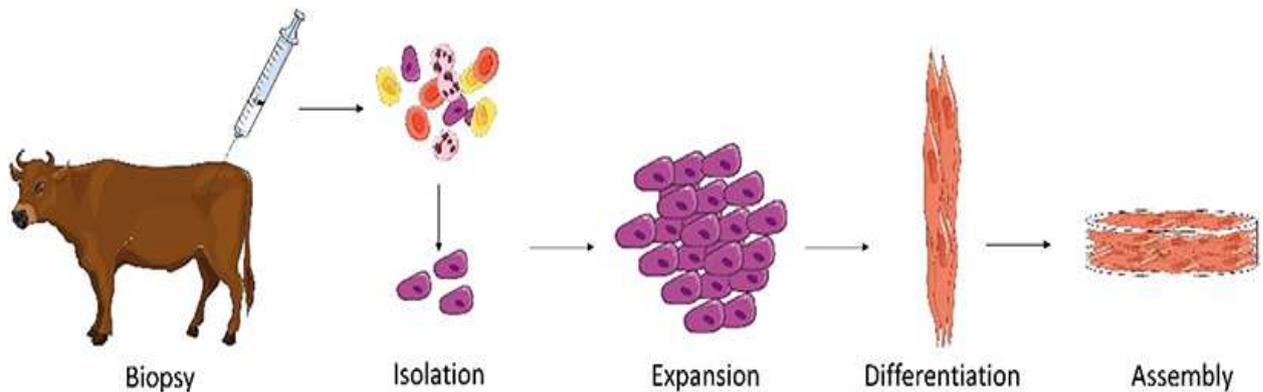


Figura 2 Principali fasi per la produzione della carne coltivata, *Microcarriers for Upscaling Cultured Meat Production*, V. Bodiou, P. Moutsatsou and M.J. Post

2.3 Limiti tecnologici, economici e legali

Il processo appena descritto potrebbe consentire una produzione di carne bovina non più allevata ma coltivata. Tuttavia, vi sono diverse sfide tecnologiche, legali ed economiche che le start-up devono superare prima di poter commercializzare su larga scala questo prodotto.

Innanzitutto, da un punto di vista tecnologico, il prodotto finale ottenuto dalla procedura sopra descritta è una sorta di macinato di colore bianco contenente solo cellule muscolari, a differenza della carne rossa convenzionale (il cui colore è conferito dalla mioglobina) che contiene, oltre cellule muscolari, anche cellule nervose, ematiche o adipose. Per quanto riguarda la colorazione della carne coltivata, un gruppo di ricercatori della Tufts University ha affermato che l'impiego di mioglobina o emoglobina conferisce al muscolo bioartificiale una tonalità di colore e un sapore simile alla carne convenzionale.⁴² Inoltre, la mioglobina risulta essere più efficace rispetto all'emoglobina nel promuovere la proliferazione e la differenziazione delle BSCs. Per donare un colore più verosimile, possono essere impiegati anche prodotti vegetali come, ad esempio, il succo di barbabietola e lo zafferano; questi ultimi utilizzati nel 2013 nell'hamburger di Mosa Meat.

Un limite che la tecnologia si trova ad affrontare è la necessità di aggiungere una frazione lipidica nella carne coltivata, così da fornire un apporto fondamentale non solo in termini nutrizionali ma soprattutto a livello gustativo³. Il gusto della carne convenzionale è dovuto ad alcune molecole, sia volatili che non, contenute soprattutto nel grasso: quanto maggiore è la mazzatura (grasso presente nel muscolo) tanto più il gusto risulta intenso. Fino al 2019 nell'azienda Mosa Meat, il prodotto che si otteneva era privo della componente grassa ma in questi ultimi anni è stata integrata.⁴³

Un altro limite tecnologico è dato dall'attuale necessità di impiegare prodotti di origine animale, quali il collagene o il siero fetale bovino, o promotori ormonali vietati dalla legislazione europea in materia.

Sono numerosi i nutrienti, i fattori di crescita e gli ormoni impiegati nella coltivazione cellulare per consentire la proliferazione e la differenziazione delle cellule staminali. Attualmente in diverse start-up, nel mezzo di coltura, viene utilizzato il siero fetale bovino (siero ricavato dal sangue di un vitello morto) che potrebbe essere un fattore limitante e non accettabile per chi segue una dieta vegana o vegetariana.⁴⁴ Inoltre, si tratta di un siero costoso che incide in larga

⁴² M. Silver, *Scientists Enhance Color and Texture of Cultured Meat*, Tufts Now, 2019.

⁴³ Mosa Meat, *How we make real meat*, Mosameat.com.

⁴⁴ S. Chriki, J.-F. Hocquette, *The Myth of Cultured Meat: A Review*, 2020.

misura sul costo di produzione della carne. Uno degli obiettivi raggiunti nel 2019 dall'azienda Mosa Meat è stato proprio quello di eliminare l'FBS attraverso l'utilizzo di RNA messengeri che sono espressi durante il differenziamento in modo da produrre le proteine tipiche delle cellule adulte differenziate.⁴⁵

L'utilizzo di ormoni della crescita nella produzione della carne coltivata è una questione importante dato che, nell'Unione Europea (a differenza che in altre parti del mondo) questi ultimi sono vietati nei sistemi di allevamento convenzionale per la produzione di carne. Tuttavia, tutti questi composti dovranno essere realizzati dall'industria chimica ed è probabile che questi processi producano rifiuti inquinanti per l'ambiente.

L'obiettivo delle start-up è raggiungere una produzione su larga scala in modo tale che il prezzo del prodotto finale sia appetibile per i consumatori e redditizio per i produttori.

Fino a pochi anni fa era emerso, che la redditività economica del processo produttivo era vincolato principalmente da due fattori: dal costo elevato dei materiali impiegati nel processo come, ad esempio, i piatti da laboratorio e il terreno di coltura e dall'assenza di automatizzazione della produzione. Per quanto riguarda l'automazione, alcune aziende come Mosa Meat hanno introdotto l'impiego di bioreattori sia per la fase di proliferazione al fine di ottenere più densità cellulare possibile, sia per la fase di differenziamento in modo tale da avere un processo più controllato in cui i parametri colturali sono automatizzati (pH, temperatura, CO₂, O₂...). Di conseguenza, la probabilità di errori derivata dal lavoro manuale diminuisce drasticamente e anche i costi della manodopera.

Nonostante l'utilizzo di bioreattori che automatizzano la coltura cellulare, il limite più importante riguarda comunque la scalabilità del processo. Per contestualizzare, in un processo di coltura cellulare in un bioreattore stirred tank con volume di 5000 litri sono richieste 8X10¹² cellule staminali per ottenere 1 kg di proteine di cellule muscolari⁴⁶. Una delle sfide che devono affrontare le aziende che producono carne artificiale, è passare da un processo a bassa scalabilità (bioreattori di piccola dimensione) ad alta scalabilità (bioreattori di grandi dimensioni). Per esempio, in un'intervista al COO di Mosa Meat, Sara Lucas, si afferma che al momento l'azienda produca carne coltivata su piccola scala. In un processo produttivo di larga

⁴⁵ T. Messemer, I. Klevernic, C. Furquim, E. Ovchinnikova, A. Dogan, H. Cruz, M.J. Post, J.E. Flack, *A serum-free media formulation for cultured meat production supports bovine satellite cell differentiation in the absence of serum starvation*, Nature Food **3**, 74-85 (2022).

⁴⁶ N. Stephens, Lucy Di Silvio, I. Dunsford, M. Ellis, A. Glencross, A. Sexton, *Bringing cultured meat to market: Technical, socio-political, and regulatory challenges in cellular agriculture*, 2018.

scala, tra le supposizioni tratte, risulta che un hamburger di 100g abbia un costo di circa 10 euro, prezzo non ancora competitivo sul mercato.⁴⁷

Nel contesto europeo⁴⁸, dal punto di vista normativo, ci sono due principali questioni relative alla nomenclatura e l'etichettatura della carne in vitro: la prima è se il nome e l'etichetta del prodotto debbano indicare chiaramente il processo di produzione; la seconda è se questo prodotto possa e debba essere definito "carne". Non essendo la carne in vitro ad oggi autorizzata per il mercato dell'UE, manca un accordo sulla sua denominazione legale.

Coloro che sviluppano le tecnologie e i cosiddetti commentatori sociali hanno già attribuito alcuni nomi ai prodotti di carne artificiale: carne coltivata, carne pulita, carne in vitro e carne di laboratorio. Si tratta di nomi usati nel linguaggio comune, ma non sono "nomi abituali" come definiti dal Regolamento FIC (1196/2011).⁴⁹ Dato che l'obiettivo principale del regolamento FIC è quello di garantire che i consumatori ricevano informazioni corrette, chiare e precise, anche circa il metodo di fabbricazione o produzione, sembra probabile che gli operatori dell'UE dovranno assicurare che il consumatore sia informato, attraverso l'etichetta del prodotto, sul fatto che la carne in questione sia stata coltivata in vitro piuttosto che con processi di produzione convenzionali, e che ciò sia indicato nella denominazione legale del prodotto. Un ulteriore fattore che dovrebbe contribuire alla trasparenza è il Regolamento sui nuovi alimenti: la carne in vitro è un nuovo alimento e richiederà di essere approvato secondo la procedura prevista dal Regolamento sui nuovi alimenti n. 2015/2283.

Prevedere invece se gli operatori che commercializzano carne in vitro saranno autorizzati a etichettare i loro prodotti come "carne" è più difficile.

Secondo il Regolamento FIC n. 1169/2011 (punto 17 dell'allegato VII parte B), ai fini dell'etichettatura, la carne è definita come "*muscoli scheletrici delle specie di mammiferi e di volatili riconosciute idonee al consumo umano con i tessuti che vi sono contenuti o vi aderiscono [...]*".

L'applicazione di questa definizione alla carne in vitro sarà probabilmente oggetto di dibattito: la carne in coltura non può essere considerata "muscolo scheletrico" (che il regolamento definisce a sua volta come "muscoli sotto il controllo volontario del sistema nervoso somatico") né consistere in "tessuti naturalmente inclusi o aderenti" a causa del processo attraverso cui

⁴⁷ G. Baldi, M. Petracchi, *Fra sostenibilità e innovazione le Alternative alle proteine Animali*, Food Hub magazine, aprile-giugno 2019.

⁴⁸ A. Froggatt, L. Wellesley, *Meat Analogues Considerations for the EU*, Energy, Environment and Resources Department, The Royal Institute of International Affairs, 2019.

⁴⁹ *Idem*.

viene prodotta. Se ciò verrà confermato, ai sensi della legislazione europea vigente, il termine "carne" non potrà essere applicato alla carne in vitro.

Infatti, argomentazioni simili sono state dibattute dalla Corte di Giustizia europea nello specifico nella causa C-422/2016 Verband Sozialer Wettbewerb eV contro TofuTown.com GmbH⁵⁰ per quanto concerne la denominazione di “latte” e le denominazioni riservate unicamente ai prodotti lattiero-caseari, che non possono essere indirizzate a designare un prodotto puramente vegetale. In questa sede la Corte sentenza affermando che le denominazioni “crema di latte o panna” e le altre non possano essere legittimamente utilizzate per definire un prodotto puramente vegetale, a meno che tale prodotto non figuri nell’elenco delle eccezioni, circostanza che non ricorre né nel caso della soia né del tofu. Si tratta di prodotti dissimili, quindi soggetti a norme differenti, concetto proiettabile anche alla situazione, di nostro principale interesse, della carne convenzionale e di quella in vitro.

Nel caso in cui si dovesse stabilire che la carne in vitro può essere definita "carne" ai sensi del Regolamento FIC, si aprirebbe un ulteriore dibattito su questioni specifiche. Ad esempio, se gli operatori saranno tenuti a indicare il Paese d'origine o il luogo di provenienza dell'animale a cui vengono prelevate le cellule staminali, come avviene per gli operatori del settore alimentare che commercializzano carne prodotta con metodi convenzionali.

Non sarà una questione eminentemente tecnica ma, nelle decisioni relative alla terminologia dei nuovi prodotti, confluiranno anche conseguenze sul mercato, relative alla concorrenza.

Infatti, permettere ai produttori di carne coltivata di etichettare i loro prodotti come "carne", susciterebbe l’opposizione dell’industria zootecnica tradizionale.

⁵⁰ Sentenza della Corte di Giustizia Europea (Settima Sezione), 14 giugno 2017 (*I).

2.4 Questioni etiche e religiose

Le start-up della carne artificiale affermano che il loro principale obiettivo è quello di fermare le pratiche crudeli inflitte dall'industria della carne agli animali da reddito (in alcuni casi confinati in spazi ristretti e macellati in condizioni disumane) e di rispondere alla futura crescente domanda di carne con un impatto ambientale ridotto. Per questo motivo, le aziende della carne sintetica si concentrano nel promuovere sul mercato questo nuovo prodotto come etico e sostenibile. Infatti, le start up si sono impegnate nello sviluppare nuovi terreni di coltura privi di sieri di origine animale, non solo per motivi economici ma anche etici, ad esempio l'FBS è un prodotto ottenuto durante la macellazione di bovine gravide. Un'altra questione etica riguarda l'allevamento degli animali, ancora necessario, per effettuare le biopsie da cui prelevare le cellule staminali al fine di produrre la carne in vitro. Tuttavia, le aziende della carne artificiale si impegnano nel promuovere un allevamento con pochi capi di bestiame; in questo modo riducendo la diffusione di malattie infettive, migliorando il benessere degli animali ed evitandone lo sfruttamento tipico dell'industria della carne.

Per i motivi sopra citati, la carne coltivata potrebbe risultare interessante per consumatori vegetariani, vegani e per gli onnivori coscienti sensibili a diminuire il consumo di carne per motivi etici.

Nonostante alcuni consumatori riconoscano i potenziali vantaggi etici della carne artificiale risultano preoccupati della sua sicurezza alimentare, in quanto percepiscono il prodotto come artificiale e non naturale.

Un'altra questione che le aziende di carne coltivata devono affrontare è se il loro prodotto può essere certificato Halal o Kosher. Ciò è importante in quanto i praticanti della religione ebraica e islamica costituiscono circa due miliardi della popolazione mondiale. È stata effettuata un'intervista alle start-up israeliane (Aleph Farms e Super Meat) e anche ad esperti della Sinagoga Unita e della Camera islamica dei servizi di certificazione Halal (IHCCS), su come conciliare la produzione di carne coltivata con le certificazioni sopra citate. Il capo dello sviluppo di Super Meat, Osnat Shostak, afferma che in futuro la carne sintetica potrà essere compatibile con le certificazioni Halal e Kosher.⁵¹ Tuttavia, è necessario prima comprendere se l'origine delle cellule, il metodo di allevamento e il processo produttivo sono conformi alle certificazioni.

⁵¹ L. Gore-Langton, *Food of the Gods: Can cell-based meat ever be Halal or Kosher?* Food ingredients, 2022.

2.5 Confronto sull'impatto ambientale fra la carne in vitro e la carne bovina

Il potenziale vantaggio che viene attribuito alla produzione di carne coltivata rispetto all'industria della carne bovina tradizionale è quello di diminuire le emissioni di gas serra. La scelta di prendere in esame la carne bovina è data dal fatto che si tratta di un prodotto inefficiente e ad alte emissioni di gas serra.

Una possibile produzione di carne coltivata su larga scala è ancora in via sviluppo, per questo motivo risulta ancora difficile farne una valutazione dell'impatto ambientale.

Uno studio, pubblicato nel 2019 su *Frontiers in Sustainable Food Systems* si basa sul confronto dell'impatto della produzione di carne coltivata sull'aumento della temperatura terrestre rispetto all'allevamento convenzionale. È stata confrontata l'impronta delle emissioni di gas serra di quattro modelli teorici della produzione di carne coltivata e tre differenti sistemi produttivi di carne bovina in Svezia, Brasile e Midwest, analizzando il complesso in un arco temporale di mille anni.

Production system	Annotation	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	GWP ₁₀₀ CO ₂ e
CULTURED MEAT					
Tuomisto and Teixeira de Mattos (2011)—low	Cultured-a	1.69			1.69
Tuomisto et al. (2014)—average	Cultured-b	3.67			3.67
Mattick et al. (2015b)—average	Cultured-c	6.64	0.019	0.0013	7.5
Mattick et al. (2015b)—high	Cultured-d	22.1	0.062	0.0043	25
BEEF CATTLE					
Swedish ranch	Sweden	0.90	0.8	0.02	28.6
Brazilian pasture	Brazil	0.90	1.2	0.03	42.45
USA Midwestern pasture	Mid-West USA	5.4	0.8	0.06	43.7

Figura 3: Scenario delle emissioni dei gas serra nei modelli di carne coltivata e nei sistemi produttivi di carne bovina di J. Lynch e P. Raymond, *Climate Impacts of Cultured Meat and Beef Cattle*, 2019.

In merito alla carne coltivata, i modelli proposti sono:

- **Cultured-a di Tuomisto e Texeira de Mattos (2011).** In questo primo studio sulla LCA della carne coltivata, si ipotizza un sistema in cui le cellule staminali embrionali animali vengono coltivate in un bioreattore cilindrico a vasca agitata (stirred tank) in un medium colturale composto da idrolizzato di cianobatteri come principale fonte alimentare, vitamine e fattori di crescita animali. In questo processo le emissioni di gas serra sono dovute soprattutto dall'uso di energia per la produzione e il trasporto dei cianobatteri mentre per i fattori di crescita e vitamine risultano trascurabili. Il prodotto

finale consiste in un composto di carne macinata con lo stesso apporto proteico della carne convenzionale a basso contenuto di grassi.

Questo studio rappresenta lo scenario più ottimistico possibile in cui viene selezionata la Thailandia come sede di produzione. Questa scelta è motivata dal fatto che le emissioni derivate dalla generazione di elettricità sono più basse rispetto ad altri Paesi.

È stato stimato che l'impronta di emissioni media è pari a 1,69 kg di CO₂ equivalente per kg di carne coltivata. È importante specificare che non è stato possibile separare i singoli gas a effetto serra, per cui si considera l'impronta costituita solamente dalle emissioni di CO₂. L'omissione del metano e del protossido di azoto non è di rilevante importanza in quanto nei modelli successivi si è osservato che il contributo di questi gas è ridotto.

- **Cultured- b di Tuomisto et al. (2014).** Nel secondo studio il sistema ipotizzato per la produzione di carne coltivata è simile a Cultured-a però presenta alcune modifiche, tra cui la scelta del bioreattore. Si impiega un bioreattore a capillare cavo (hollow fiber) in cui vi è un dispendio energetico per mantenere la temperatura necessaria per la crescita delle cellule (37°). Un'ulteriore modifica consiste nell'adoperare materie prime alternative di origine vegetale in aggiunta ai cianobatteri: il mais, la cui impronta di produzione risulta maggiore rispetto ai cianobatteri ma minore rispetto al grano.

In questo modello l'impronta di emissione ha un valore medio di circa 3,67 kg di CO₂ equivalente per kg di carne coltivata, ipotizzando scenari di resa del bioreattore migliori e peggiori. Inoltre, si presuppone che questa impronta sia composta interamente da emissioni di CO₂. Anche in questo caso, si ritiene improbabile che l'omissione dell'impatto del protossido di azoto e del metano possa influenzare significamente le conclusioni.

- **Cultured-c, di Mattick et al. (2015b).** Nel terzo scenario ipotizzato si impiega il bioreattore a vasca agitata (stirred tank) in due fasi: nella prima fase si ha la proliferazione delle cellule staminali muscolari mentre nella seconda avviene la differenziazione cellulare e aumento della biomassa. In questo modello il medium utilizzato è costituito da amminoacidi, peptidi (derivati dall'idrolisi della soia) e glucosio (proveniente dall'amido di mais). Inoltre, sono impiegati fattori di crescita in quantità trascurabili.

In questo sistema, il contributo maggiore delle emissioni è dato dall'impiego dell'energia per l'aerazione, miscelazione e mantenimento della temperatura durante il processo colturale.

L'impronta media in questo modello è di 7,5 kg di CO₂ equivalente per kg di carne coltivata; in questo caso il contributo di emissione è dato in piccola parte da metano e protossido di azoto (vedi *Figura 3*).

- **Cultured-d, di Mattick et al. (2015b).** In questo scenario le tecniche adottate per la produzione di carne coltivata sono simili a Cultured-c ma differiscono nella fase di proliferazione in cui la densità cellulare è più bassa e nella fase di differenziazione dove non si ha un aumento della biomassa. Inoltre, è fondamentale specificare che l'impianto è stato progettato su larga scala simile a un impianto di produzione farmaceutica.

L'impronta media di emissione è di 25 kg di CO₂ equivalente per kg di carne coltivata; in questo sistema le emissioni di metano e protossido di azoto sono state calcolate in proporzione ai valori di emissioni della cultured-c.

Le Cultured-a e Cultured-b sono progettate nelle condizioni più ottimistiche per un'ipotetica produzione di carne coltivata mentre una visione più realistica è stata fornita nei modelli proposti da Carolyn Mattik.

In riferimento alla letteratura Pierrehumbert ed Eshel 2015 sono stata identificate tre impronte di emissioni per i sistemi produttivi di carne bovina che si differenziano in:

- **Swedish ranch**, allevamento estensivo biologico analizzato da Cederberg e Nillson (2004). In questo sistema i bovini vengono alimentati con mangimi prodotti senza l'impiego di pesticidi o fertilizzanti sintetici.

L'emissione di metano per unità di carne prodotta risulta bassa poiché il tasso di nascita del bestiame è di circa un capo all'anno e i bovini hanno un rapido aumento di massa corporea.

L'impronta media di emissione è pari a 28,6 kg di CO₂ equivalente per kg di carne bovina prodotta.

- **Brazilian pasture**, sistema di pascolo estensivo e biologico studiato da Cederberg et al. (2009) con caratteristiche simili del Swedish ranch. Si differenzia da quest'ultimo in quanto i bovini hanno un lento aumento di massa corporea. Per questo motivo, le emissioni di metano per unità prodotta sono notevolmente maggiori.

L'impronta media di emissione è pari a 42,46 kg di CO₂ equivalente per kg di carne bovina prodotta.

- **Usa Midwestern pasture**, sistema di allevamento analizzato da Pelletier et al. (2010). Come nel Swedish ranch i bovini crescono rapidamente di massa corporea per cui le emissioni di metano sono le stesse, ma la gestione energetica del sistema provoca emissioni di CO₂ e N₂O più alte.

L'impronta media di emissione è pari a 43,7 kg di CO₂ equivalente per kg di carne bovina prodotta.

Nella *Figura 3* si può osservare che sono annotate le singole emissioni dei gas serra e il valore di GWP100 in relazione alla CO₂. Tuttavia, quest'ultimo indicatore può risultare fuorviante in quanto non tiene conto del tempo di permanenza e del bilancio delle emissioni di ogni singolo gas a effetto serra.

Il metano ha un indice GWP100 pari a 28, ossia è 28 volte più inquinante della stessa quantità di CO₂ rilasciata, ma ha un tempo di permanenza atmosferica di circa 12 anni (Myhre et al. 2013) rispetto all'anidride carbonica che ha una vita millenaria (Archer e Brovkin 2008). Ad esempio, nel sistema di allevamento Sweden il GWP100 di CO₂ equivalente è pari a 28,6 non specificando che il contributo maggiore delle emissioni è dato dal metano 22,4 (circa il 78 %), seguito dal protossido di azoto 5,3 (circa il 18%) ed infine dalla anidride carbonica 0,9 (circa il 4%).

Nei sistemi di carne coltivata le emissioni di gas serra sono costituite maggiormente dalla CO₂, in particolare Cultured-c e Cultured-d, con valori superiori rispetto ai sistemi produttivi di carne convenzionale. Invece, le emissioni di metano sono significativamente superiori nei sistemi produttivi di carne bovina.

In definitiva, nonostante i valori di GWP100 CO₂ equivalente dei modelli di produzione culturale siano inferiori rispetto ai sistemi produttivi convenzionali, questo non significa che siano meno impattanti.

Per questo motivo, sono stati analizzati tre differenti scenari di consumo di carne bovina convenzionale e sintetica per ipotizzare l'impatto dei gas serra dei sistemi sopra descritti. Vengono proposti dei grafici in cui si confronta come l'impatto delle emissioni totali di gas serra provochi un innalzamento della temperatura, espressa in Kelvin, nell'arco temporale di mille anni.

Il **primo scenario** si basa su un consumo elevato e costante di carne bovina: 25 kg pro-capite all'anno, stima di consumo reale negli Stati Uniti nel 2019. Si è voluto ipotizzare che questa quantità venisse consumata da una popolazione futura di dieci miliardi di persone.

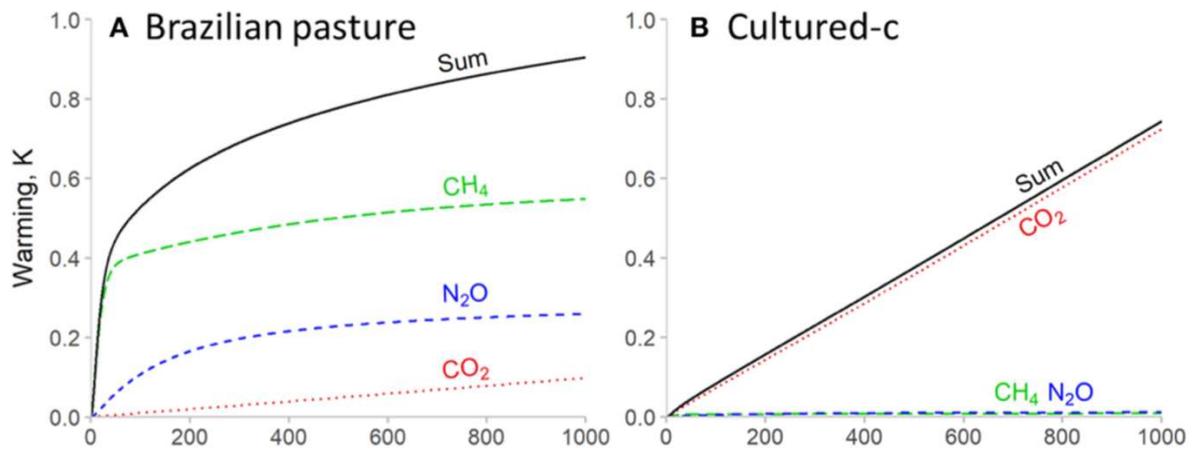


Figura 4: Contributo delle emissioni dei singoli gas serra sull'innalzamento della temperatura terrestre nei sistemi Brazilian pasture e Cultured-c di J. Lynch e P. Raymond, *Climate Impacts of Cultured Meat and Beef Cattle*, 2019

Come si osserva nella Figura 4 le emissioni nel sistema Brazilian pasture sono gran parte dovute dal metano, a differenza, nel modello Cultured-c il contributo maggiore è dato dall'anidride carbonica.

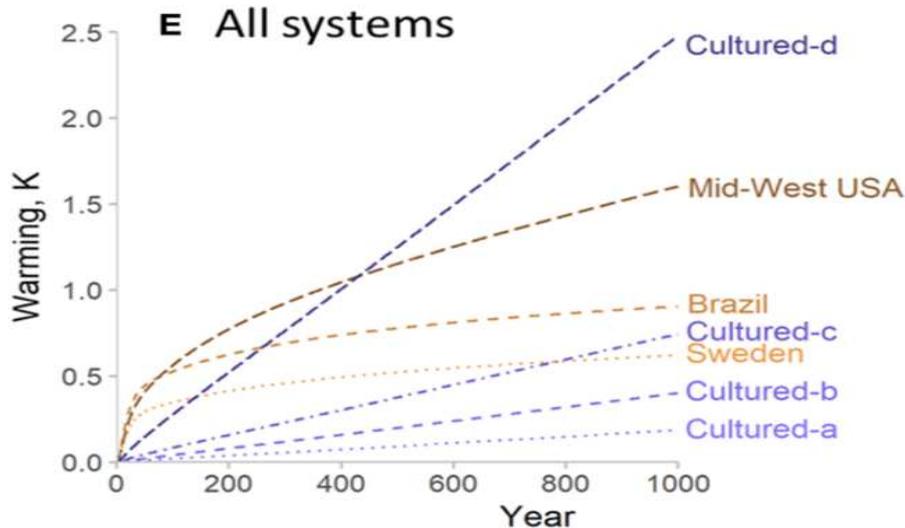


Figura 5: Confronto dell'impatto dei sistemi analizzati sull'innalzamento della temperatura terrestre di J. Lynch e P. Raymond, *Climate Impacts of Cultured Meat and Beef Cattle*, 2019

Analizzando la Figura 5, i modelli di carne coltivata (Cultured-a, Cultured-b, Cultured-c e Cultured-d) causano un riscaldamento minore rispetto ai sistemi produttivi bovini per i primi cent'anni. Nell'arco temporale di mille anni si può notare che le emissioni delle colture ideali, Cultured-a e Cultured-b, provocano un innalzamento della temperatura inferiore rispetto

all'allevamento Sweden; quest'ultimo rappresenta il miglior sistema di allevamento in termini di emissioni. Tuttavia, come si osserva nella *Figura 4*, le emissioni dei sistemi di carne coltivata sono costituite maggiormente da CO₂, la quale si accumula nell'atmosfera continuando ad esercitare il suo potere riscaldante (effetto irreversibile). Per questo motivo, nel lungo termine i sistemi di carne coltivata provocano un innalzamento della temperatura terrestre maggiore rispetto ai sistemi produttivi di carne bovina, in cui le emissioni sono costituite maggiormente da metano. Quest'ultimo nonostante abbia un GWP100 pari a 28, ha una permeanza atmosferica all'incirca di 12 anni per cui il suo effetto di innalzamento della temperatura terrestre è reversibile.

Ad esempio, nella *Figura 5* si può trarre come Cultured-d (modello produttivo di carne coltivata più realistico) per i primi quattrocento anni provoca un innalzamento della temperatura inferiore rispetto al sistema produttivo di carne bovina Mid-West Usa. Invece, nell'arco temporale compreso tra i quattrocento e mille anni risulta più impattante.

Il **secondo scenario** prevede una prima fase in cui il consumo di carne bovina è di 25 kg pro-capite all'anno, ipotizzando che questa quantità venga consumata in una finestra temporale di cent'anni da una popolazione mondiale di 10 miliardi. Invece, la seconda fase consiste in un declino esponenziale del consumo, dai cento ai mille anni, raggiungendo lo zero.

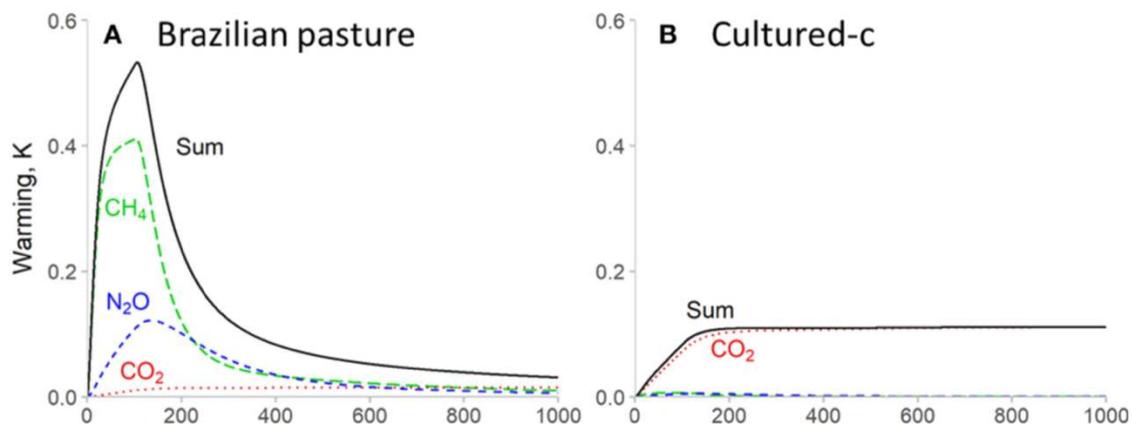


Figura 6: Contributo delle emissioni dei singoli gas serra sull'innalzamento della temperatura terrestre nei sistemi Brazilian pasture e Cultured-c di J. Lynch e P. Raymond, Climate Impacts of Cultured Meat and Beef Cattle, 2019

Come si osserva dalla *Figura 6*, nel sistema Brazilian pasture il consumo elevato di carne provoca un picco di innalzamento della temperatura terrestre dovuto alle elevate emissioni di metano e in parte di protossido di azoto. Nella fase di declino la curva di innalzamento della

temperatura decresce rapidamente in quanto le emissioni di metano e protossido di azoto hanno una bassa permanenza in atmosfera.

Per quanto riguarda il modello culture-c, nella prima fase ad alto consumo di carne si osserva un innalzamento della temperatura terrestre. In seguito, nella fase di declino dei consumi non vi è una decrescita della curva in quanto le emissioni sono costituite prettamente dall'anidride carbonica (effetto irreversibile).

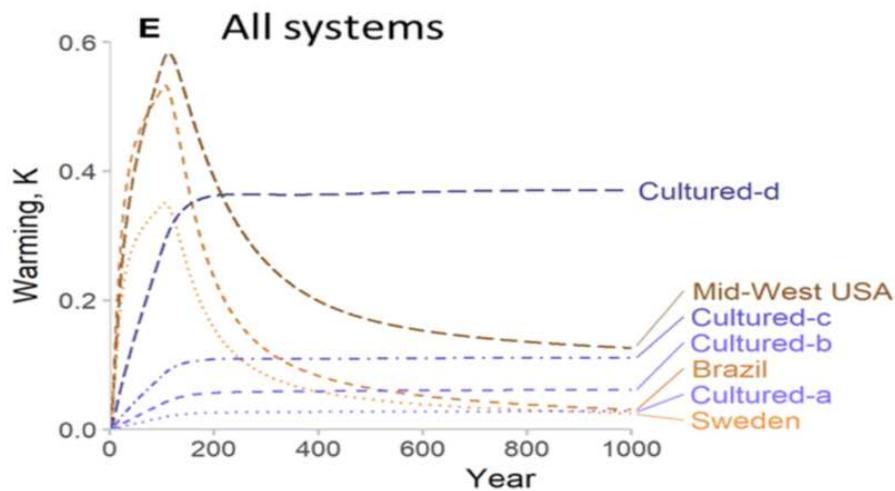


Figura 7: Confronto dell'impatto dei sistemi analizzati sull'innalzamento della temperatura terrestre di J. Lynch e P. Raymond, *Climate Impacts of Cultured Meat and Beef Cattle*, 2019

Nella Figura 7, si può notare come i sistemi produttivi di carne bovina nella fase di alto consumo provocano un picco di innalzamento della temperatura terrestre risultando molto più impattanti rispetto ai modelli di carne sintetica. Ciò nonostante, nella fase di declino si osserva che entrambi i sistemi, sia di carne bovina che di carne sintetica, causano un innalzamento della temperatura terrestre in un range di variazione di circa 0,1 Kelvin ad eccezione di Cultered-d. Di conseguenza in questo scenario di consumo, il modello Cultured-d risulta essere il più impattante.

Il **terzo scenario** ipotizza un consumo più realistico di carne bovina. Nei primi cent'anni si ha un tasso di consumo che aumenta esponenzialmente da 5,5 (carne bovina consumata da 7,3 miliardi di persone, Pierrehumbert e Eshel 2015) a 25 kg pro-capite l'anno per una popolazione mondiale di 10 miliardi. A seguire, dai cento ai mille anni, si ha un declino esponenziale del consumo fino a raggiungere un valore di consumo di circa 4 kg pro-capite l'anno.

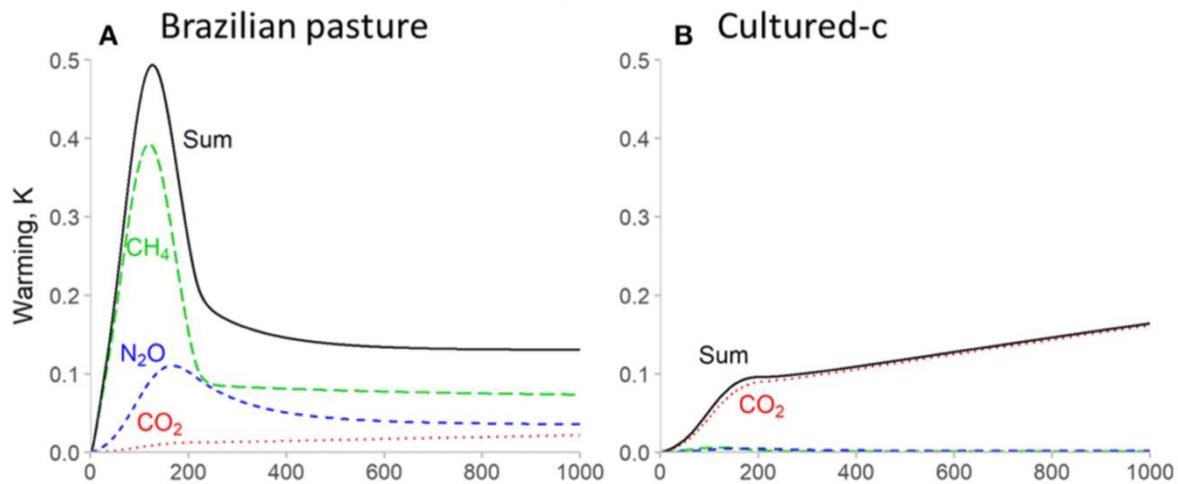


Figura 8: Contributo delle emissioni dei singoli gas serra sull'innalzamento della temperatura terrestre nei sistemi Brazilian pasture e Cultured-c di J. Lynch e P. Raymond, *Climate Impacts of Cultured Meat and Beef Cattle*, 2019

Nella *Figura 8*, nel sistema Brazilian pasture si può notare un picco di innalzamento della temperatura terrestre, causato dall'alto consumo di carne bovina. Nella fase di declino questo innalzamento diminuisce esponenzialmente fino a toccare un livello di temperatura stabile (circa 0,15 Kelvin) dato dal raggiungimento del tasso di consumo di circa 4 kg pro-capite l'anno. Per quanto riguarda la Cultured-c, vi è un innalzamento rapido della temperatura, in linea con l'aumento del consumo; quando quest'ultimo diminuisce si ha invece un incremento più lento.

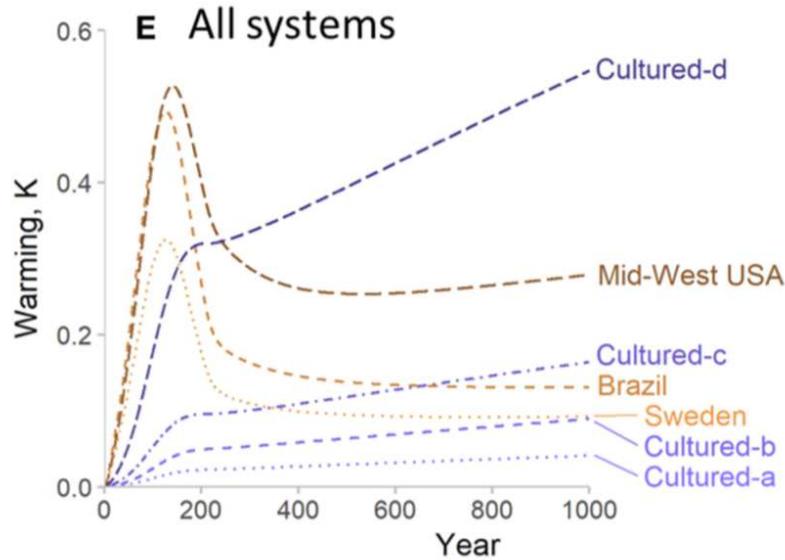


Figura 9: Confronto dell'impatto dei sistemi analizzati sull'innalzamento della temperatura terrestre di J. Lynch e P. Raymond, *Climate Impacts of Cultured Meat and Beef Cattle*, 2019

Nella *Figura 9*, si può trarre che nella fase di alto consumo i sistemi produttivi di carne bovina convenzionale comportano un picco di innalzamento della temperatura terrestre maggiore dei modelli di carne coltivata. Nella fase di declino, fino al raggiungimento dei mille anni, si può eccepire come nei sistemi di carne sintetica l'innalzamento della temperatura terrestre segue una crescita proporzionale ai consumi; a differenza dei sistemi di carne bovina in cui si raggiunge un livello stabile. Anche in questo scenario, il modello produttivo di carne coltivata più realistico, Cultured-d, risulta essere il più impattante sul riscaldamento terrestre.

In conclusione, il confronto dei GWP100 può risultare fuorviante, in quanto indica che i modelli di carne bovina coltivata sono meno impattanti dei sistemi di carne bovina convenzionale.

Tramite l'analisi dei tre differenti scenari di consumo si è potuto constatare che nel lungo termine i modelli di carne bovina sintetica non rappresentano, per ora, un'alternativa sostenibile in termini di emissioni di gas serra.

3. Due possibili strategie per ridurre l'impatto ambientale dei sistemi di allevamento

3.1 Migliorare la composizione e la digeribilità dei mangimi

I mangimi hanno un ruolo cruciale sull'efficienza produttiva e sullo stato di salute degli animali ma possono anche influenzare profondamente le emissioni dei gas serra per unità di prodotto. Secondo l'articolo 3 del Regolamento (CE) N.178/2002 con il termine "mangime" si intende *"qualsiasi sostanza o prodotto, compresi gli additivi, trasformato, parzialmente trasformato o non trasformato, destinato alla nutrizione per via orale degli animali"*.

La normativa mangimistica ripartisce i costituenti dei mangimi in materie prime che possono essere di origine vegetale o animale ed additivi. Le materie prime di origine vegetale più impiegate sono: i cereali come fonte di carboidrati (mais, frumento, orzo...), le leguminose come fonte proteica (la più utilizzata è la soia) e come fonte lipidica sono impiegati frutti oleosi e semi (cotone, arachidi e colza). Per quando riguarda le materie prime di origine animale, vengono essenzialmente utilizzati sottoprodotti non destinati al consumo umano.

Invece, l'articolo 2 del Regolamento 1831/2003 definisce additivi le sostanze, i microrganismi o i preparati che vengono intenzionalmente aggiunti agli alimenti o all'acqua al fine di svolgere una o più funzioni. In base a queste ultime, vengono suddivise in categorie specifiche (tecnologiche, nutrizionali, zootecnici e coccidiostatici).

L'aggiunta di additivi è fondamentale perché nelle materie prime sia di origine vegetale che di origine animale per differenti fattori, si possono rilevare alcune carenze di nutrienti necessari per il benessere e l'efficienza produttiva dell'animale, infatti, in alcuni casi vengono aggiunti oligoelementi, vitamine ed altri principi nutritivi.

Una strategia per ridurre l'impatto ambientale derivante dagli allevamenti convenzionali è quella di sviluppare un'alimentazione di precisione con un miglioramento della digeribilità dei mangimi, diminuire gli alimenti destinabili al consumo umano e attuare un'economia circolare. Il progresso nel campo della nutrizione animale ha permesso di studiare un'alimentazione di precisione detta anche "precision feeding", fondamentale per la salute dell'animale, l'efficienza produttiva ma anche per la sostenibilità ambientale. In questo modo i nutrizionisti, che si occupano della formulazione dei mangimi, hanno concentrato le loro attenzioni su quali siano effettivamente i nutrienti necessari al fabbisogno dell'animale nelle diverse fasi riproduttive evitando in questo modo eccessi nutrizionali.

È fondamentale pianificare l'alimentazione per garantire il soddisfacimento dei fabbisogni nutrizionali e per migliorare l'efficienza produttiva degli animali da reddito, infatti, nelle filiere le razioni adottate sono di due o tre tipologie differenti a seconda dell'età e dello sviluppo degli animali.

Un parametro importante è l'efficienza alimentare che misura la quantità di mangime utilizzata per ottenere una unità di prodotto. Nel tempo le ricerche svolte sui fabbisogni nutrizionali degli animali hanno consentito di ridurre l'indice di conversione aumentando l'efficienza economica e riducendo l'impatto ambientale dei sistemi zootecnici.

Ad esempio, è stato applicato un programma alimentare di precisione in un allevamento di bovini da latte al pascolo in cui si osservato un aumento della produttività ma anche una diminuzione delle emissioni enteriche di metano (14-20%) e delle escrezioni di azoto (20-30%).⁵²

Un aspetto importante in un programma alimentare di precisione riguarda la scelta di mangimi ad alta digeribilità e l'impiego di additivi accuratamente selezionati per ridurre le emissioni di gas a effetto serra e le escrezioni di inquinanti.

Essendo i ruminanti responsabili di gran parte delle emissioni di metano (fermentazioni enteriche e gestioni delle lettiere e dei liquami) una strategia è quella di utilizzare razioni povere di foraggi e ricche di concentrati; questi ultimi derivati dalla lavorazione di mais, frumento, orzo e soia.

Le diete integrate con una maggiore quantità di concentrati essendo ricche di carboidrati non strutturali (ad esempio l'amido) permettono una diminuzione delle emissioni di metano enteriche a differenza di diete con un maggiore apporto di foraggi in cui prevalgono carboidrati strutturali. Quest'ultimi sono componenti della parete cellulare vegetale (emicellulosa, cellulosa e lignina) e costituiscono la fibra NDF ossia la fibra indigeribile o lentamente digerita che occupa spazio nel rumine.

Per tanto, una dieta costituita prevalentemente da concentrati permette un aumento dell'ingestione e della velocità di transito degli alimenti nel rumine, rallentando i tempi di fermentazione e di conseguenza le emissioni di metano enterico. Inoltre, consente una maggiore produttività (diminuzione indiretta delle emissioni di metano) e un abbassamento del pH ruminale contrastando la proliferazione dei batteri metanogeni del rumine. Ad esempio, una

⁵² B. Stefanon, M. Mele, G. Pulina, *Allevamento Animale e sostenibilità ambientale - Le tecnologie*, Franco Angeli, 2018.

dieta con uguali quantità di foraggio e concentrato riduce di circa il 4 % le emissioni di metano rispetto a una dieta basata su un rapporto tra foraggio e concentrato di 65/ 35.⁵³

Uno studio di Doreau et al. (2011), svolto su un allevamento di bovini da carne, confronta le emissioni di metano di due diete differenti destinate ai ruminanti. La dieta costituita dal 70 % di farina di mais, 16 % di farina di estrazione di soia e 14% di paglia, comporta una minore emissione di metano rispetto all'alimentazione costituita dal 50% di fieno.⁵⁴ Questo è dovuto dalla maggiore presenza di amido e dalla minore quantità di fibra NDF nella prima dieta.

Per quanto riguarda l'amido, una delle principali fonti energetiche del bestiame, la digestione ruminale è influenzata dalla struttura chimica della molecola soprattutto dal rapporto fra catene di amilosio e amilo-pectina, che varia in base al tipo di alimento preso in considerazione e dalla sua qualità.

La produzione di metano può essere ridotta tramite l'impiego di additivi in grado di modificare l'attività microbica dei ruminanti. Ad esempio, l'utilizzo di alcuni lieviti in grado di fermentare i glucidi e di enzimi fibrolitici in grado di idrolizzare la fibra NDF. Un altro additivo testato nello studio di Martin et al. (2008) è l'olio di lino, inserito nella razione di bovine da latte in quantità pari al 5,7% del peso secco diminuendo le emissioni di metano del 64% rispetto ad una alimentazione priva di questo nutriente. A causa degli effetti avversi riscontrati nella produzione del latte e nella degradabilità della fibra NDF, un successivo studio Benchaar et al. (2016) suggerisce l'utilizzo dell'olio di lino in quantità non superiori al 3 % del peso secco.⁵⁵

L'aggiunta di acidi grassi polinsaturi e acidi grassi saturi ha mostrato una diminuzione di emissione di metano quando questi non superano il 6 % nella razione dei bovini; in particolare sono risultati più efficaci gli acidi grassi polinsaturi (Patra 2013).⁵⁶

L'alimentazione deve mirare a diminuire la presenza di inquinanti nelle escrezioni, in particolar modo di fosforo, azoto, rame, zinco e relativi gas a effetto serra.

Ad esempio, la formulazione di una dieta a basso contenuto proteico ma che al tempo stesso soddisfi le differenti esigenze delle specie animali permette un aumento dell'utilizzo dell'azoto, una riduzione dell'escrezione di questo composto e di conseguenza una diminuzione delle emissioni di ammoniaca e protossido di azoto durante la gestione degli effluenti.

⁵³ B. Stefanon, M. Mele, G. Pulina, *Allevamento Animale e sostenibilità ambientale - Le tecnologie*, Franco Angeli, 2018, p.52

⁵⁴ *Idem.*

⁵⁵ *Idem.*

⁵⁶ *Idem.*

Può essere fondamentale l'impiego di amminoacidi essenziali più limitanti (lisina, metionina, treonina, triptofano) in diete a basso contenuto proteico, riducendo in questo modo le escrezioni di azoto e ammoniaca nel suolo, nelle acque superficiali o di falda e le emissioni di protossido di azoto nell'atmosfera. Ad esempio, se viene adottata una dieta più equilibrata in base alla fase produttiva, si è potuto riscontrare che le escrezioni di azoto dei suini possono diminuire dal 25 al 40%; nello specifico per ogni unità di proteina sostituita da amminoacidi di sintesi, che soddisfano il fabbisogno proteico, si ha riduzione di circa l'8% di escrezioni fecali e urinarie di azoto.⁵⁷

Il fosforo, uno dei nutrienti fondamentali per la crescita del bestiame è presente nei mangimi di origine vegetale sotto forma di acido fitico. A differenza dei bovini che possiedono batteri in grado idrolizzare l'acido fitico in ioni fosfato assimilati dal ruminante, i suini e gli avicoli necessitano dell'enzima fitasi per digerirlo che può essere aggiunto all'interno della dieta.

Un ulteriore metodo per diminuire l'escrezione di inquinanti è l'utilizzo di tecnologie impiegate dall'industria mangimistica sui mangimi come la granulometria e i trattamenti termici. Ad esempio, con la tecnica della granulometria alimentare suini con mangimi di diametro medio, diminuito da 1000 a 600 micron, consente una miglior digeribilità della sostanza secca e dell'azoto di circa il 5-6% e diminuisce l'escrezione rispettivamente del 20 e 24%.⁵⁸

Oltre a una alimentazione di precisione può risultare interessante l'utilizzo di sottoprodotti ed ex prodotti alimentari dell'industria alimentare che possono essere reimpiegati dall'industria mangimistica evitando in questo modo sprechi. Il riutilizzo di sottoprodotti ed ex prodotti alimentari è il fondamento dell'economia circolare, permette un aumento del profitto tramite il passaggio da basso ad alto valore del sottoprodotto e inoltre riduce l'impatto ambientale.

L'economia circolare viene definita, da una delle realtà più attive nella promozione di questo modello la Ellen Mac Arthur Foundation, come *“un'economia pensata per potersi rigenerare da sola. In un'economia circolare i flussi di materiali sono di due tipi: quelli biologici, in grado di essere reintegrati nella biosfera, e quelli tecnici, destinati a essere rivalorizzati senza entrare nella biosfera”*.

L'articolo 184-bis del Decreto Legislativo 152/06 definisce come sottoprodotto *“È un sottoprodotto e non un rifiuto ai sensi dell'articolo 183, comma 1, lettera a), qualsiasi sostanza od oggetto che soddisfa tutte le seguenti condizioni:*

⁵⁷ B. Ronchi, G. Bittante, V. Dell'Orto A. Formigoni, N. P. P. Macciotta, M. Mele, G. Piva, G. Pulina, S. Sevi Accademia dei Georgofili Comitato Consultivo “Allevamenti e prodotti animali”, Documento per audizione Commissione e Agricoltura e produzione agroalimentare, Senato della Repubblica, 2 febbraio 2021-14.00-15.00, *“Allevamenti, sostenibilità ambientale e cambiamenti climatici”*, p.8.

⁵⁸ *Idem*.

- a) la sostanza o l'oggetto è originato da un processo di produzione, di cui costituisce parte integrante, e il cui scopo primario non è la produzione di tale sostanza od oggetto;
- b) è certo che la sostanza o l'oggetto sarà utilizzato, nel corso dello stesso o di un successivo processo di produzione o di utilizzazione, da parte del produttore o di terzi;
- c) la sostanza o l'oggetto può essere utilizzato direttamente senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale;
- d) l'ulteriore utilizzo è legale, ossia la sostanza o l'oggetto soddisfa, per l'utilizzo specifico, tutti i requisiti pertinenti riguardanti i prodotti e la protezione della salute e dell'ambiente e non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o la salute umana”.

Un esempio di impiego di sottoprodotto è il siero del latte derivato dal processo di caseificazione nel settore suinicolo italiano, che permette un risparmio di circa 1 kg fra cereali e proteici e 14 litri di acqua utilizzandone 15 litri/capo/giorno. Tra l'altro l'uso del siero è raccomandato dai disciplinari di produzione dei prosciutti crudi Dop in quanto conferisce una qualità più elevata alle carcasce.⁵⁹

Altri sottoprodotti possono derivare dai cereali (crusca di grano, glutine di mais, paglia...), dalla lavorazione della frutta (bucce, gusci di mandorle, polpa di agrumi...), dalla barbabietola da zucchero (melasse e esauste) e dall'industria delle carni e del pesce.

Invece secondo il Regolamento Europeo 68/2013 (punto 3 dell'allegato catalogo delle materie prime per mangimi, parte A) “« *Ex prodotti alimentari*» indica prodotti alimentari, diversi dai residui della ristorazione, fabbricati, in modo del tutto conforme alla legislazione comunitaria sugli alimenti, per il consumo umano ma che non sono più destinati al consumo umano per ragioni pratiche, logistiche o legate a difetti di lavorazione, d'imballaggio o d'altro tipo, senza che presentino alcun rischio per la salute se usati come mangimi. La fissazione di tenori massimi di cui all'allegato I, punto 1, del regolamento (CE) n. 767/2009 non si applica agli ex prodotti alimentari e ai residui della ristorazione. Essa si applica quando tali alimenti sono ulteriormente lavorati al fine dell'ottenimento di mangimi.”

Tra gli ex prodotti alimentari sono utilizzati latte, miele, uova e ovo prodotti, pesce o prodotti della pesca, carni di non ruminanti e prodotti a base di carne oltre che pane, biscotti e snack. Questi prodotti subiscono precise lavorazioni in modo tale da essere trasformati in materie

⁵⁹ B. Ronchi, G. Bittante, V. Dell'Orto A. Formigoni, N. P. P. Macciotta, M. Mele, G. Piva, G. Pulina, S. Sevi Accademia dei Georgofili Comitato Consultivo “Allevamenti e prodotti animali”, Documento per audizione Commissione e Agricoltura e produzione agroalimentare, Senato della Repubblica, 2 febbraio 2021-14.00-15.00, “Allevamenti, sostenibilità ambientale e cambiamenti climatici”, p.9.

prime utilizzabili per la formulazione dei mangimi, rispettando le normative di sicurezza alimentare.

L'utilizzo di sottoprodotti ed ex prodotti permette il passaggio da un modello lineare ad uno circolare in particolare il settore mangimistico veste un ruolo fondamentale nel connettere il settore agricolo, zootecnico e industriale ottimizzando il riutilizzo degli scarti e riducendo indirettamente l'impatto ambientale. Inoltre, il reimpiego di questi prodotti ha il vantaggio di non sottrarre alimenti che possono essere assunti nella dieta umana, questione sorta dall'utilizzo di mais, soia, frumento e orzo per produrre concentrati destinati agli animali da reddito.

Lo studio Tricarico (2016) stima se vi è una reale competizione di materie prime negli Stati Uniti fra l'alimentazione edibile all'uomo e l'alimentazione del bestiame da latte. Si stima che il 2,2 % degli alimenti compete con l'alimentazione destinabile all'uomo fino ad un massimo del 20 % se si considerano i valori nutrizionali.⁶⁰

⁶⁰ B. Stefanon, M. Mele, G. Pulina, *Allevamento Animale e sostenibilità ambientale - Le tecnologie*, Franco Angeli, 2018, p. 52.

3.2 Gestione efficace degli effluenti zootecnici: dai ricoveri degli animali allo spargimento in campo

Una corretta gestione degli effluenti zootecnici è fondamentale per consentire una diminuzione delle emissioni di ammoniaca e di due gas a effetto serra: il protossido di azoto e il metano. È possibile applicare diverse tecniche per mitigare le emissioni nei ricoveri degli allevamenti, nella fase di stoccaggio e nella distribuzione degli effluenti zootecnici. Inoltre, un'altra strategia per ridurre le emissioni è il riutilizzo degli effluenti zootecnici come sottoprodotto inserendoli in un'ottica di economia circolare.

Gli effluenti o reflui zootecnici consistono nell'insieme dei rifiuti prodotti da un allevamento di animali da reddito, si tratta di deiezioni liquide e solide, scarti di mangimi e acque usate per lavare e abbeverare gli animali. Si differenziano in reflui palabili che sono quelli solidi e in reflui non palabili che sono invece quelli liquidi, di conseguenza le modalità di stoccaggio e le strutture adottate dipendono dal contenuto di sostanza secca. Per quanto riguarda gli effluenti solidi lo stoccaggio può avvenire all'interno di ricoveri in cui è presente una lettiera permanente (le deiezioni sono raccolte insieme al materiale di lettiera sulla superficie impermeabile di riposo degli animali) anche se nella maggioranza degli allevamenti si utilizzano vasche esterne adiacenti al ricovero.

Per quanto riguarda i reflui non palabili, lo stoccaggio può avvenire internamente in ricoveri con pavimentazioni fessurate che permettono la raccolta in vasche interrato oppure esternamente in contenitori fuori terra, interrati, semi interrati e lagune.

Nei ricoveri per contenere le emissioni devono essere adottate delle tecniche che tengano conto delle differenti esigenze ambientali richieste dalla specie animale allevata.

Una tecnica per ridurre le emissioni di sostanze gassose applicabile a tutte le tipologie di ricoveri è la rimozione costante delle deiezioni e il rinnovo delle lettiere. Ad esempio, i ricoveri dei bovini da latte sono caratterizzati da una pavimentazione grigliata o fessurata dove al di sotto di essa è presente una fossa o un canale di stoccaggio delle deiezioni. In questa tipologia di ricovero, per la rimozione delle deiezioni possono essere adottati dei dispositivi di pulizia automatizzati (robot-scrapers) che veicolano le deiezioni nel canale o nella fossa sottostante. Per quanto riguarda il rinnovo delle lettiere, in particolare nei ricoveri di bovine da latte in produzione, una corretta utilizzazione della paglia consente l'assorbimento dell'umidità delle feci e delle urine diminuendo in questo modo le emissioni di ammoniaca. È necessario che la quantità di paglia sia presente in linea con il fabbisogno poiché se in eccesso, provoca un aumento delle emissioni di metano e protossido di azoto.

Una possibile strategia da adottare nei ricoveri può essere quella di ridurre la velocità e la temperatura dell'aria; questo metodo risulta parzialmente efficace in quanto non sempre soddisfa le richieste di ventilazione e temperatura per il benessere dell'animale. Tuttavia, un'elevata ventilazione consente di mantenere asciutte le lettiere diminuendo in questo modo le emissioni di ammoniaca.

Un altro metodo da adottare all'interno dei ricoveri, può essere ridurre il pH degli effluenti con l'impiego di acido solforico o altri acidi organici che permettono di trattenere l'azoto sotto forma di ione ammonio in soluzione, evitando la volatilizzazione in forma di ammoniaca e protossido di azoto; risulta comunque necessario valutarne l'impatto ambientale e i costi di utilizzo.

Negli allevamenti animali le emissioni di inquinanti in particolare di ammoniaca, metano e particolato possono essere abbattute tramite l'impiego di apparecchiature note come scrubber, le più adottate sono quelle a umido.

Con il termine wet scrubber o torre di lavaggio si intende *“quell'apparecchiatura che permette di abbattere la concentrazione di polveri, sostanze o gas inquinanti dagli scarichi gassosi di impianti industriali, mediante lavaggio ed assorbimento per reazione chimica in un opportuno reagente”*.⁶¹ Questa apparecchiatura lavora in presenza di acqua con l'impiego di reagenti chimici (acidi o basi) o biologici che variano in base al tipo di sostanze da rimuovere. Ad esempio, per la rimozione dell'ammoniaca, essendo basica, viene utilizzato l'acido solforico.

Il limite maggiore che presenta questa tecnica sono i costi elevati legati all'acquisto, all'installazione e alla manutenzione dello scrubber. Inoltre, per utilizzare queste apparecchiature è necessario che i ricoveri siano dotati di una ventilazione forzata e di un sistema che diriga l'aria verso il sistema di trattamento.

Nella fase di stoccaggio degli effluenti zootecnici una delle tecniche più efficienti è quella di utilizzare delle coperture sulle vasche di stoccaggio, sia per ridurre le emissioni di ammoniaca, protossido di azoto e polveri sia per impiegare il metano a fini energetici nei casi in cui risulta possibile. Per quanto riguarda quest'ultimo caso, è necessario utilizzare delle coperture specifiche e installare un sistema per l'utilizzo del biogas recuperato.

Le coperture impiegate per diminuire le emissioni di ammoniaca possono essere suddivise in due tipologie: le fisse e le fluttuanti. Le fisse sono coperture rigide, ancorate ai bordi dei serbatoi di stoccaggio ed evitano l'ingresso dell'acqua piovana riducendo le emissioni dell'80%. Invece, le fluttuanti consentono l'accesso dell'acqua piovana e riducono le emissioni

⁶¹ <https://www.abbattimentocattiviiodori.com/potenziamento-scrubber/>.

solo del 40-60% e possono essere di materiale organico (paglia, argilla...) o sintetico.⁶² Inoltre, queste ultime se sono di materiale organico richiedono una costante ripristinazione.

Un altro metodo efficace nella fase di stoccaggio è quello di aumentare la profondità degli stoccaggi utilizzando vasche con un rapporto superficie/volume almeno pari a 0,2.⁶³

Gli effluenti zootecnici possono essere lavorati per ottenere sottoprodotti collocabili sul mercato dei fertilizzanti/ammendanti e sul campo della produzione energetica.

I reflui non palabili possono essere sottoposti a DA wet (Digestione Anaerobica con contenuto di sostanza secca fino al 10%), separazione liquido/solido ed a differenti processi a valle come l'essiccazione e lo strippaggio. Invece, i reflui palabili oltre alla DA dry (contenuto di sostanza secca maggiore del 20%), possono subire digestione aerobica nel processo di compostaggio ed altre lavorazioni.⁶⁴

In generale, il processo di digestione anaerobica (DA) consiste in una fermentazione microbica (batteri mesofili e termofili) della biomassa organica in assenza di ossigeno. I prodotti che si ottengono sono il digestato, l'energia termica e il biogas; quest'ultimo è composto da metano per il 50-80%, anidride carbonica per il 20-40%,⁶⁵ vapore acqueo e altri gas, tra cui l'acido solfidrico. Il processo di generazione di biogas è ad alto valore energetico in quanto si ha cogenerazione di energia elettrica e termica oltre che di biometano.

Il digestato zootecnico si origina da effluenti zootecnici (palabili e non palabili) e biomasse vegetali dedicate al settore agricolo, in questo modo, non viene considerato un rifiuto dalla normativa.

Nel processo di DA le fonti di azoto organico subiscono degradazione, la parte carboniosa viene utilizzata per produrre biogas mentre il gruppo ammonico viene liberato in soluzione come azoto minerale (ammoniacale). Inoltre, anche gli elementi fosforo, sodio e potassio sono soggetti ad un processo di trasformazione biochimica passando dalla forma organica a quella minerale. Dunque, il digestato si forma dalla rimozione della sostanza organica aumentando in questo modo la concentrazione di elementi minerali come sodio, fosforo, potassio e azoto.

⁶² Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali, Dipartimento delle politiche europee e dello sviluppo rurale DISR III, *Linee guida per la riduzione delle emissioni in atmosfera provenienti dalle attività agricole e zootecniche, secondo quanto previsto dall'art 5, comma 1, lettera b dell'Accordo di programma per l'adozione coordinata e congiunta di misure di risanamento della qualità dell'aria nel Bacino Padano del 19 dicembre 2013.*

⁶³ *Idem*

⁶⁴F. Cecchi, P. Battistoni, P. Pavan, D. Bolzonella, L. Innocenti, *Digestione anaerobica della frazione organica dei rifiuti solidi-Aspetti fondamentali, progettuali, gestionali di impatto ambientale ed integrazione con la depurazione delle acque*, Manuali e linee guida 13/2005.

⁶⁵ G. Mezzalana, F. Corrales Santacroce, G. Ruol, S. Barbieri, A. Brighenti, A. Cecchin, G. Garavini, R. Zonin, R. De Gobbi, B. Lazzaro, F. De Rosa, L. De Sabbata, F. Lamo, *Filiere e Tecnologie di trattamento degli effluenti di allevamento*, Veneto Agricoltura, Azienda Regionale per i Settori Agricolo, Forestale e Agroalimentare.

Questi ultimi essendo prontamente disponibili grazie al processo di mineralizzazione rendono il digestato un ottimo fertilizzante e ammendante.

Nello specifico, negli effluenti non palabili viene effettuata una DA wet in reattori definiti digestori, in seguito il digestato può subire ad esempio un processo di separazione liquido/solido ad efficienza bassa (vagli statici), media (cilindro rotante con rulli di compressione), alta (centrifughe), ed elevata (ultrafiltrazione e osmosi inversa).

La frazione solida ottenuta dalla separazione viene sottoposta a un processo di essiccazione che viene alimentato dall'energia termica prodotta dalla DA permettendo di essiccare circa il 50% del digestato prodotto dall'impianto.⁶⁶ Il riciclo dell'energia permette di ridurre l'impatto ambientale nonché i costi; l'impiego limitato di fonti energetiche esterne all'impianto rientra in un'ottica di economia circolare.

Dal processo di essiccazione si ha una diminuzione dei volumi degli effluenti zootecnici ed una riduzione e concentrazione dell'azoto. Si ottiene come prodotto finale un materiale palabile, biologicamente stabile, facilmente utilizzabile e distribuibile come fertilizzante con emissioni notevolmente ridotte.

Invece, la frazione liquida ottenuta dalla separazione può essere sottoposta a diversi processi, tra cui lo strippaggio che consente di ottenere sia fanghi non palabili destinabili al mercato dei fertilizzanti (soluzioni liquide con solfato di ammonio) sia un liquido chiarificato povero di azoto riutilizzabile all'interno degli impianti. Anche in questo caso il processo risulta conveniente in termini di costi di gestione e di impatto ambientale in quanto sfrutta l'energia termica prodotta dalla DA.

Per quanto riguarda gli effluenti palabili, può essere effettuata una DA dry in cui si ottiene un digestato utilizzabile nel settore agronomico e negli impianti di produzione di biogas. Oltre alla DA, si può attuare una digestione aerobica tramite un processo di compostaggio dove si verifica una parziale decomposizione della sostanza organica, in presenza di ossigeno, con liberazione di energia termica (processo esoergonico). Il prodotto finale del processo è il compost, la cui elevata quantità di microorganismi permette un significativo miglioramento della fertilità biologica. Inoltre, essendo ricco di nuovi nutrienti, facilita l'attività di questi microorganismi promuovendo la degradazione della materia organica (con liberazione di azoto, fosforo e altri micronutrienti) e favorendo l'antagonismo verso funghi e batteri fitopatogeni. Per i motivi

⁶⁶ F. Cecchi, P. Battistoni, P. Pavan, D. Bolzonella, L. Innocenti, *Digestione anaerobica della frazione organica dei rifiuti solidi-Aspetti fondamentali, progettuali, gestionali di impatto ambientale ed integrazione con la depurazione delle acque*, Manuali e linee guida 13/2005.

sopra citati il compost risulta essere un ottimo fertilizzante con proprietà ammendanti e rientra in un'ottica di economia circolare.

Lo spargimento sui terreni agricoli di fertilizzanti causa il rilascio nell'ambiente di ammoniaca e protossido di azoto, rilascio che dipende dalle proprietà del suolo e dal contesto climatico-ambientale.

Sono state sviluppate delle tecniche di distribuzione degli effluenti tenendo conto sia della natura stessa degli effluenti, del metodo e del tempo di distribuzione.

Prima di effettuare lo spargimento dei reflui zootecnici risulta fondamentale conoscerne le caratteristiche quantitative e qualitative. In particolare, è importante determinare il contenuto di azoto e le diverse forme in cui è presente: l'azoto nitrico ed ammoniacale sono le forme facilmente reperibili nel suolo e direttamente assimilabili dalle piante mentre l'azoto in forma organica subisce un processo di mineralizzazione la cui velocità varia in base alle caratteristiche del suolo (tessitura del suolo, porosità e permeabilità) alle stagioni e allo stato solido/ liquido dell'effluente stesso.

Durante la fase di spargimento degli effluenti palabili e non, le emissioni di azoto ammoniacale possono essere ridotte in maniera più o meno consistente a seconda dei macchinari impiegati.

Per effettuare la distribuzione in campo degli effluenti palabili vengono impiegati gli spandiletame, macchinari dotati di un sistema di spargimento allocati posteriormente o anterolateralmente. Per garantire l'efficacia del fertilizzante e ridurre le emissioni di azoto risulta fondamentale il processo di interrimento che può avvenire contemporaneamente alla distribuzione o dopo quest'ultima. Le emissioni di ammoniaca possono variare in relazione al tempo del processo: un interrimento effettuato entro le 4 ore dallo spargimento comporta una riduzione dell'85-90% delle emissioni.⁶⁷

Per quanto riguarda gli effluenti non palabili la distribuzione può avvenire con diverse tecniche: superficiale (irrigatori ad alta pressione e piatti deviatore), rasoterra (in banda e in banda con deflettore) sottosuperficiale (a solco aperto e a solco chiuso) e sottosuperficiale profonda (interrimento profondo oltre 35 cm).⁶⁸

La distribuzione superficiale risulta vantaggiosa in quanto lo spargimento avviene senza compressione del terreno da parte dei macchinari evitando dunque il fenomeno di compattazione. D'altro canto, presenta numerosi limiti, tra cui uno spargimento poco omogeneo

⁶⁷ A. Pezzuolo, L. Sartori, *Importanza dei sistemi di distribuzione degli effluenti come misure di mitigazione dell'impatto ambientale degli allevamenti, Strategie di mitigazione delle emissioni negli allevamenti (applicazione BAD-MTD)*, 5 e 7 ottobre 2021 (2° edizione).

⁶⁸ *Idem*.

e una perdita notevole di azoto nel suolo con conseguente rilascio di ammoniaca nell'aria (fino all' 80-90%)⁶⁹. Per quest'ultimo motivo risulta necessario svolgere il processo di interrimento in tempi brevi in quanto l'ammoniaca nelle prime ore di distribuzione volatilizza velocemente. Una strategia per ridurre le emissioni di ammoniaca è adoperare macchinari in cui la distribuzione avviene con minor superficie possibile esposta all'aria come, ad esempio, le tecniche di spargimento rasoterra. La distribuzione su strisce di terreno/bande attraverso l'impiego di tubi flessibili permette uno spargimento omogeneo e riduce le emissioni di odori e particolato; mantiene inoltre una maggiore concentrazione di azoto nel suolo diminuendo le emissioni di ammoniaca fino al 50-60%.⁷⁰

Per ridurre ulteriormente la superficie esposta all'aria, si può adottare una tecnica di distribuzione sotto superficiale in cui si creano dei solchi nel suolo che possono essere aperti o chiusi. Per quanto riguarda i primi, durante la creazione dei solchi si verifica lo spargimento dell'effluente in quantità calcolata in base alla profondità del solco. Nei secondi, si può effettuare una iniezione più profonda con una maggiore quantità di effluente e in possibile concomitanza al processo di semina.

Nei sistemi di distribuzione in cui si effettuano solchi aperti si verifica una riduzione dell'emissioni di ammoniaca del 56-80% a differenza delle iniezioni a solchi chiusi dove si può raggiungere una diminuzione dell'80-90%.⁷¹

In conclusione, per diminuire le emissioni di composti azotati è fondamentale applicare un programma di distribuzione dei reflui in cui i fattori più importanti sono: quantità e qualità dell'effluente in base alla richiesta del suolo e delle colture, omogeneità e tempo di spargimento, impiego di macchinari tecnologici che distribuiscono gli effluenti con ridotta superficie esposta all'aria.

Una corretta gestione dei reflui zootecnici consente di ottenere differenti sottoprodotti, tra cui i fertilizzanti organici (liquame e digestato) riutilizzabili in ambito agronomico. Questi sottoprodotti sono raccomandati come alternativa ai fertilizzanti sintetici non solo per la loro natura meno inquinante ma per il loro inserimento in un'economia circolare.

⁶⁹ A. Pezzuolo, L. Sartori, *Importanza dei sistemi di distribuzione degli effluenti come misure di mitigazione dell'impatto ambientale degli allevamenti, Strategie di mitigazione delle emissioni negli allevamenti (applicazione BAD-MTD)*, 5 e 7 ottobre 2021 (2° edizione).

⁷⁰ *Idem*

⁷¹ G. Provolo, F. Sommariva, A. Finzi, O. Ferrari, *Gestione sostenibile ed efficiente degli effluenti di allevamento per la fertilizzazione delle colture- GeSEFFE, Indicazioni operative per la gestione dei reflui zootecnici*, 2020.

Conclusione

Nelle ipotesi più ottimistiche o ideali di produzione di carne sintetica bovina⁷², le emissioni di anidride carbonica risultano competitive con quelle dei sistemi bovini convenzionali; per quanto riguarda invece il modello di produzione di carne coltivata su larga scala, visione più realistica, le elevate emissioni di CO₂ provocano un innalzamento della temperatura drasticamente maggiore rispetto a qualsiasi sistema convenzionale bovino. Come precedentemente sottolineato, trattandosi di modelli e simulazioni, non è possibile affermare che la produzione di carne sintetica provochi un impatto ambientale maggiore.

Inoltre, la gran parte delle emissioni della produzione di carne sintetica sono costituite da CO₂, ciò è dovuto alla elevata richiesta energetica degli impianti che attualmente sono alimentabili da combustibili fossili. L'anidride carbonica che ne deriva provoca un continuo effetto di riscaldamento terrestre a causa del suo lungo tempo di permanenza atmosferico, anche in seguito alla diminuzione o alla fine del ciclo produttivo. Essendo la produzione di carne in vitro una tecnologia in via di sviluppo, è fondamentale progettare degli impianti che sfruttino fonti energetiche rinnovabili in alternativa all'impiego di combustibili fossili, in questo modo il vantaggio ambientale rispetto alla produzione di carne convenzionale risulterebbe notevole.

Per valutare l'impatto ambientale della carne sintetica è fondamentale analizzare l'intero Life Cycle Assessment, considerando eventuali lavorazioni per ottenere da un prodotto grezzo (sorta di macinato) il prodotto finale desiderato. Tra queste sono incluse l'aggiunta di differenti nutrienti (lipidi, vitamine del gruppo B, sali minerali...) che conferiscono al prodotto caratteristiche organolettiche simili alla carne convenzionale e di elementi nutritivi che, oltre a soddisfare il fabbisogno nutrizionale, possono essere accuratamente studiati per migliorarne il contenuto (miglioramento del profilo degli acidi grassi). Inoltre, sono incluse le lavorazioni per ottenere prodotti a base di carne differenti, ad esempio, per produrre una "bistecca" sono necessari numerosi processi rispetto alla produzione di un semplice macinato. Dunque, risulta complesso determinare l'impatto ambientale della carne coltivata in quanto le lavorazioni possono essere di differente natura.

Un possibile vantaggio associato alla produzione di carne sintetica è il risparmio del suolo: si verifica una riduzione dei capi allevati rispetto agli allevamenti convenzionali poiché gli animali da reddito risultano necessari solo per il prelievo delle cellule staminali. In questo modo, diminuisce l'attività di deforestazione e le conseguenti emissioni di anidride carbonica

⁷² J. Lynch, R. Pierrehumbert, *Climate Impacts of Cultured Meat and Beef Cattle*, 2019

aumentando la superficie di suolo libero, disponibile per il sequestro del carbonio. Oltre alla liberazione del suolo, la diminuzione dei capi allevati riduce l'inquinamento delle acque poiché il flusso di reflui risulta minore.

Il vantaggio di una produzione di carne sintetica non si osserva solamente nell'ambito ambientale ma anche etico: allevamenti con pochi capi di bestiame, miglioramento del benessere degli animali evitandone lo sfruttamento tipico dell'industria della carne.

D'altronde è importante ricordare il valore socioeconomico e culturale della realtà zootecnica che rappresenta una fonte di reddito difficilmente sostituibile, produce circa il 40 % del PIL del settore agroalimentare mondiale e dà lavoro a circa 1,3 miliardi di individui nel mondo.⁷³

Nei sistemi di produzione di carne convenzionale si opera il riutilizzo di numerosi sottoprodotti in un'ottica di economia circolare comportando benefici economici ma anche ambientali; in una visione pionieristica in cui si produce esclusivamente carne sintetica, si verificherebbe la rottura di questa circolarità.

Le attività zootecniche contribuiscono anche a mantenere in vita antiche tradizioni e sono strettamente connesse alla storia, alla società e alla cultura umana. L'immissione nel mercato della carne sintetica, oltre a poter provocare una rottura antropologica, potrebbe essere eticamente discutibile in quanto percepibile come il prodotto di una visione tecno-centrica basata sul profitto.

I consumatori potrebbero considerare la carne sintetica non naturale, artificiale e non sicura risultando poco invitante, inoltre, sussiste il problema della denominazione legale del prodotto in quanto definirlo "carne" risulterebbe fuorviante.

Un quesito interessante a cui rispondere è se vi sia una reale necessità di produrre carne sintetica in un contesto ricco di alternative già esistenti. Nello specifico, è possibile intervenire negli allevamenti di carne convenzionale migliorando la composizione e la digeribilità dei mangimi e ottimizzando la gestione e la distribuzione degli effluenti zootecnici.

In questo elaborato si evince che la produzione di carne coltivata sia ancora un processo in via di sviluppo in quanto presenta numerosi limiti da superare. L'evoluzione di questa recente tecnologia prosegue a pari passo con le innovazioni scientifiche che permettono di migliorare la produzione e l'efficienza del processo. Ciò nonostante, non si può prevedere se tale progresso renda in futuro la carne sintetica un prodotto competitivo alla carne convenzionale sia in termini ambientali che economici.

⁷³ Accademia Nazionale dei Lincei, Convegno, *Raccogliere i benefici della Scienza per la sostenibilità nelle produzioni zootecniche*, 25-26 gennaio 2022.

Bibliografia

- A. J. McMichael, J.W. Powles, C. D. Butler, R. Uauy, *Food, livestock production, energy, climate change, and health*, 2007.
- A. Pezzuolo, L. Sartori, *Importanza dei sistemi di distribuzione degli effluenti come misure di mitigazione dell'impatto ambientale degli allevamenti, Strategie di mitigazione delle emissioni negli allevamenti (applicazione BAD-MTD)*, 5 e 7 ottobre 2021 (2° edizione).
- Accademia Nazionale dei Lincei, Convegno, *Raccogliere i benefici della Scienza per la sostenibilità nelle produzioni zootecniche*, 25-26 gennaio 2022.
- A. Gastaldo, P. Rossi, P. Ferrari, *Da una sperimentazione del Crpa sulle stalle di bovini da latte-Gestione dei reflui, tante soluzioni tra cui scegliere*, L'informatore agrario 20/2006.
- A. Gastaldo, P. Rossi, *Effluenti zootecnici i sistemi di stoccaggio-Seconda puntata di interventi Crpa sulla gestione delle deiezioni*, Tecnica economia, 2009
- A. Froggatt, L. Wellesley, *Meat Analogues Considerations for the EU*, Energy, Environment and Resources Department, The Royal Institute of International Affairs, 2019.
- Sentenza della Corte di Giustizia Europea (Settima Sezione), 14 giugno 2017 (*I).
- B. Wedeux, A. Schulmeister-Oldenhove, WWF, *Stepping up: The continuing impact of EU consumption on nature*, 2021.
- B. Ronchi, G. Bittante, V. Dell'Orto A. Formigoni, N. P. P. Macciotta, M. Mele, G. Piva, G. Pulina, S. Sevi, Accademia dei Georgofili Comitato Consultivo "Allevamenti e prodotti animali", Documento per audizione Commissione e Agricoltura e produzione agroalimentare, Senato della Repubblica, 2 febbraio 2021-14.00-15.00, "Allevamenti, sostenibilità ambientale e cambiamenti climatici".
- B. Stefanon, M. Mele, G. Pulina, *Allevamento Animale e sostenibilità ambientale -Le tecnologie*, Franco Angeli, 2018.
- B. A. Wurgaft, "Godfather of Cultured Meat" Willem Van Eelen Passes Away at 91, 2015.
- Commissione ASPA, *Controllo dell'impatto ambientale degli allevamenti animali*, 2009.
- H. Steinfeld, P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales, C. de Haan, *Listestock's Long Shadow: Environmental Issue and Options*, Fao 2006.
- D. Bigi, A. Zanon, *Atlante delle razze autoctone, Bovini, Equini, Ovicaprini, Suini allevati in Italia*, 2020.
- D. Tilman, M. Clark, *Global diets link environmental sustainability and human health*, Nature 515, 518–522 (2014).
- F. E. Smith, *The World of 2030 A.D.*

- F. Cecchi, P. Battistoni, P. Pavan, D. Bolzonella, L. Innocenti, *Digestione anaerobica della frazione organica dei rifiuti solidi- Aspetti fondamentali, progettuali, gestionali di impatto ambientale ed integrazione con la depurazione delle acque*, Manuali e linee guida 13/2005.
- G. Luneau, *Carne Artificiale? No, Grazie. La prima grande inchiesta sulle lobby del cibo in provetta*, Castelvecchi, 2021.
- G. Mezzalana, F. Corrales Santacroce, G. Ruol, S. Barbieri, A. Brighenti, A. Cecchin, G. Garavini, R. Zonin, R. De Gobbi, B. Lazzaro, F. De Rosa, L. De Sabbata, F. Lamo, *Filiere e Tecnologie di trattamento degli effluenti di allevamento*, Veneto Agricoltura, Azienda Regionale per i Settori Agricolo, Forestale e Agroalimentare.
- G. Provolo, F. Sommariva, A. Finzi, O. Ferrari, *Gestione sostenibile ed efficiente degli effluenti di allevamento per la fertilizzazione delle colture- GeSEFFE, Indicazioni operative per la gestione dei reflui zootecnici*, 2020.
- G. Baldi, M. Petracci, *Fra sostenibilità e innovazione le Alternative alle proteine Animali*, Food Hub magazine, aprile-giugno 2019.
- I. Pratesi, E. Alessi, *Dalle pandemie alla perdita di biodiversità dove ci sta portando il consumo di carne*, WFF Italia, 2021.
- J.F. Hocquette, *Is in vitro meat the solution for the future?* Meat Science Volume 120, 2016.
- J. Lynch e P. Raymond, *Climate Impacts of Cultured Meat and Beef Cattle*, Frontiers in Sustainable Food Systems 2019.
- L. Gore-Langton, *Food of the Gods: Can cell-based meat ever be Halal or Kosher?* Food ingredients, 2022.
- M. Silver, *Scientists Enhance Color and Texture of Cultured Meat*, Tufts Now, 2019.
- Mosa Meat, *How we make real meat*, Mosameat.com.
- Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali, Dipartimento delle politiche europee e dello sviluppo rurale DISR III, *Linee guida per la riduzione delle emissioni in atmosfera provenienti dalle attività agricole e zootecniche, secondo quanto previsto dall'art 5, comma 1, lettera b dell'Accordo di programma per l'adozione coordinata e congiunta di misure di risanamento della qualità dell'aria nel Bacino Padano del 19 dicembre 2013*.
- N. Galarraga, *Brasile: l'impero oscuro della soia*, la Repubblica, 2021.
- N. Stephens, Lucy Di Silvio, I. Dunsford, M. Ellis, A. Glencross, A. Sexton, *Bringing cultured meat to market: Technical, socio-political, and regulatory challenges in cellular agriculture*, 2018.
- N. Galan, R.N., *What is blue baby syndrome?* Medical News Today, 2018.

- P. Paramasivam, *Lab-grown meat producer Memphis Meats raises \$161 million in funding led by SoftBank*, 2020.
- S. Chriki, J.-F. Hocquette, *The Myth of Cultured Meat: A Review*, 2020.
- S. De Meo, L. Vuolo, A. Caroppo, Interrogazione con richiesta di risposta scritta E-004976/2021 alla Commissione, Articolo 138 del Regolamento, *Finanziamento europei destinati alla produzione di carne in vitro*.
- T. Messemer, I. Klevernic, C. Furquim, E. Ovchinnikova, A. Dogan, H. Cruz, M.J. Post, J.E. Flack, *A serum-free media formulation for cultured meat production supports bovine satellite cell differentiation in the absence of serum starvation*, *Nature Food* 3, 74-85 (2022).
- V. Bodiou, P. Moutsatosu, M. J. Post, *Microcarriers for Upscaling Cultured Meat Production*, *frontiers in Nutrition*, 2020
- W. Churchill, *Fifty Years Hence*, *Maclean's Magazine*, H. Napier Moore, W. A Irwin, 1931.
- Y. Ran, M. Lannerstad, M. Herrero, C.E. Van Middelaar, I.J.M De Boer, *Assessing water resource use in livestock production: A review of methods*, 2016.

Sitografia

24 aprile: <https://www.ecoage.it/misura-effetto-serra.htm>.

30 aprile: <https://www.cisternemorbide.it/blog/-reflui-zootecnici-cosa-c-e-da-sapere-e-come-raccogliarli--n68>.

2 maggio:

<https://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/wg1/WG1AR5%20Chapter08%20Final.pdf>

16 maggio: <https://www.efanews.eu/item/17910-proteine-in-provetta-eat-just-chiude-finanziamento-da-200-milioni-di-dollari.html>.

20 maggio: <https://www.fondazionetes.it/cellule-staminali>.

20 maggio: <https://www.kodami.it/carne-coltivata-in-laboratorio-perche-deve-essere-unalternativa>.

27 maggio: <https://mosameat.com>

1 giugno: <https://www.agrifoodtoday.it/innovazione/finanziamenti-carne-vitro.html>

3 giugno: <https://www.abbattimentocattiviodori.com/potenziamento-scrubber/>.