



**UNIVERSITÀ  
DI PARMA**

*Dipartimento di Scienze Medico-Veterinarie*

*Corso di Laurea Magistrale in*

*Produzioni Animali Innovative e Sostenibili*

TITOLO DELLA TESI

La sostenibilità nel settore zootecnico. Possibili sistemi di mitigazione dell'impatto ambientale dell'allevamento.

Sustainability in the livestock sector. Possible mitigation systems of environmental impact of breeding.

Relatore

Laureanda

Chiar.mo Prof. Ossiprandi Maria Cristina

Zuccato Matilde

ANNO ACCADEMICO

2022/2023



<b>INTRODUZIONE</b>	<b>- 6 -</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>- 8 -</b>
<b>1. LO SVILUPPO SOSTENIBILE</b>	<b>- 10 -</b>
1.1. INTRODUZIONE ALLO SVILUPPO SOSTENIBILE	- 10 -
1.1.1. EVOLUZIONE DEL CONCETTO DI SVILUPPO SOSTENIBILE	- 15 -
1.1.2. LIMITI DEL PIANETA	- 23 -
1.1.3. AGENDA 2030 E GLI OBIETTIVI PER LO SVILUPPO SOSTENIBILE	- 30 -
1.2. AGENDA GLOBALE PER IL BESTIAME SOSTENIBILE - GASL	- 33 -
1.2.1. LE SFIDE DEL SETTORE ZOOTECNICO NELLO SVILUPPO SOSTENIBILE	- 35 -
1.2.2. SALUTE E BENESSERE ANIMALE ( <i>ONE HEALTH</i> )	- 40 -
1.2.3. CLIMA E USO NATURALE DEL SUOLO	- 42 -
1.2.4. ZOOTECNIA E CRESCITA ECONOMICA	- 44 -
1.3. SISTEMA ALIMENTARE	- 46 -
1.3.1. SICUREZZA ALIMENTARE	- 46 -
1.3.2. INTERAZIONI TRA SISTEMA ALIMENTARE E OSS	- 48 -
1.3.3. IMPATTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SULLA SICUREZZA ALIMENTARE	- 51 -
1.3.4. VULNERABILITÀ DELLA SICUREZZA ALIMENTARE AI CAMBIAMENTI CLIMATICI	- 54 -
1.3.5. IMPATTI SULLA SICUREZZA ALIMENTARE E SULLA NUTRIZIONE	- 59 -
<b>2. CONTRIBUTO DELLA ZOOTECNICA AL CAMBIAMENTO CLIMATICO</b>	<b>- 61 -</b>
2.1. PRODUZIONI ANIMALI E BIOCAPACITÀ DEL PIANETA	- 61 -
2.1.1. IL CONSUMO DI PRODOTTI DI ORIGINE ANIMALE NEL MONDO	- 64 -
2.1.2. ALLEVAMENTI E USO DELLE TERRE	- 67 -
2.2. I CAMBIAMENTI CLIMATICI	- 70 -
2.2.1. L'EFFETTO SERRA	- 71 -

2.2.2.	EMISSIONI DEI SISTEMI ZOOTECNICI	- 78 -
2.2.2.1.	BOVINI	- 85 -
2.2.2.2.	BUFALO	- 87 -
2.2.2.3.	MAIALE	- 89 -
2.2.2.4.	OVICAPRINI	- 91 -
2.2.2.5.	POLLO	- 93 -
2.3.	IL CARBONIO	- 95 -
2.3.1.	IL CICLO DEL CARONIO	- 95 -
2.3.2.	CONTRIBUTO DELLA ZOOTECNIA AL RILASCIO DI CARBONIO	- 96 -
2.4.	EUTROFIZZAZIONE	- 98 -
2.4.1.	IL CICLO DELL'AZOTO	- 98 -
2.4.2.	DEFINIZIONE E ORIGINE	- 99 -
2.4.3.	CONTRIBUTO DELLA ZOOTECNIA AL RILASCIO DI COMPOSTI EUTROFIZZANTI	- 102 -
2.5.	ACIDIFICAZIONE	- 104 -
2.5.1	DEFINIZIONE E ORIGINE	- 104 -
2.5.2.	EMISSIONI DI AMMONIACA E PARTICOLATO	- 107 -
<b>3.</b>	<b><u>LA BIODIVERSITÀ</u></b>	<b>- 109 -</b>
3.1.	DEFINIZIONE DI BIODIVERSITÀ	- 109 -
3.1.1.	L'IMPORTANZA DELLA BIODIVERSITÀ	- 114 -
3.1.2.	INDICATORI DI STATO	- 115 -
3.1.3.	IL VALORE DEGLI INDICATORI QUANTITATIVI	- 118 -
3.1.4.	METODI DI STIMA DELL'IMPATTO AMBIENTALE	- 120 -
3.1.4.1.	APPLICAZIONE DEL METODO LCA NELLE SPECIE ZOOTECNICHE	- 126 -
3.1.4.2.	RISULTATI DI VALUTAZIONI LCA IN ALCUNE FILIERE ZOOTECNICHE	- 130 -
3.2.	CONSUMI IDRICI DEI SISTEMI ZOOTECNICI	- 137 -
3.2.1.	CLASSIFICAZIONE DELL'ACQUA RISPETTO ALLA PROVENIENZA E USO	- 139 -

3.2.2.	WATER FOOTPRINT	- 141 -
3.2.2.1.	WATER FOOTPRINT NET (W <sub>FPNET</sub> )	- 144 -
3.2.3.	WFP PER PRODOTTI DI ORIGINE ANIMALE	- 148 -
<b>4.</b>	<b>BENESSERE ANIMALE</b>	<b>- 152 -</b>
4.1.	TENDENZE DEL SISTEMA ZOOTECNICO	- 152 -
4.1.1.	TIPI DI SISTEMI DI PRODUZIONE	- 153 -
4.1.2.	MALATTIE ANIMALI	- 155 -
4.2.	BENESSERE ANIMALE	- 158 -
4.2.1.	STORIA E DEFINIZIONI	- 159 -
4.2.1.1.	NORMATIVE E LEGGI DI BENESSERE ANIMALE	- 163 -
4.2.2.	BENESSERE ANIMALE E SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE	- 164 -
4.2.2.1.	STIMA DELLO STATO DI BENESSERE	- 166 -
4.2.3.	EFFETTI DEL BENESSERE SULLO STATO DI SALUTE	- 168 -
4.2.4.	BENESSERE, SALUTE E PRESTAZIONI ANIMALI	- 169 -
4.2.5.	SISTEMI DI ALLEVAMENTO E SISTEMI AMBIENTALI	- 174 -
<b>5.</b>	<b>PRATICHE SOSTENIBILI DI MITIGAZIONE DELLE EMISSIONI</b>	<b>- 179 -</b>
5.1.	SOSTENIBILITÀ DELLE PRODUZIONI BOVINE	- 179 -
5.1.1.	ALIMENTAZIONE	- 181 -
5.1.2.	RAZZA	- 184 -
5.1.3.	NUMERO DEGLI ANIMALI ALLEVATI	- 188 -
5.1.4.	SISTEMA PRODUTTIVO	- 192 -
5.1.5.	GESTIONE DEI REFLUI	- 198 -
5.1.6.	CONCLUSIONI PRELIMINARI	- 200 -
5.2.	SOSTENIBILITÀ DELLE PRODUZIONI OVINE E CAPRINE	- 203 -
5.2.1.	ALIMENTAZIONE	- 204 -

5.2.2. GESTIONE DEI REFLUI	- 209 -
5.2.3. PASCOLO	- 210 -
5.3. SOSTENIBILITÀ DELLE PRODUZIONI SUINICOLE	- 213 -
5.3.1. DUE POSSIBILI SCENARI	- 213 -
5.4. SOSTENIBILITÀ DELLE PRODUZIONI AVICOLE	- 220 -
5.4.1. ALIMENTAZIONE	- 221 -
5.4.2. GESTIONE DEI REFLUI	- 224 -
<b>CONCLUSIONI</b>	<b>- 228 -</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>- 231 -</b>

## INTRODUZIONE

La sfida più grande per il settore agro-zootecnico è ridurre i compromessi tra incremento della produttività e sostenibilità a lungo termine.

In ragione della crescente domanda alimentare stimolata dall'aumento della popolazione mondiale e dalla globalizzazione, il settore zootecnico dovrà far fronte ad una richiesta alimentare senza precedenti che richiederà, oltre all'aumento di prodotti alimentari di origine animale, di intensificare lo sfruttamento delle risorse naturali, generando un aumento dell'impatto ambientale del settore.

L'attenzione mondiale è rivolta ormai da molti anni agli effetti negativi generati nei confronti dell'ambiente dalle attività antropiche e sono stati di conseguenza sviluppati piani mondiali per riuscire a risolvere, o per lo meno migliorare, i danni ambientali che stanno scatenando una catena di eventi degenerativi terrestri. Tutti i settori partecipano alla produzione di emissioni e generano impatto ambientale, compreso il settore zootecnico che, grazie alla sua espansione mondiale e alla differenziazione del settore, ha un impatto ambientale significativo.

I settori zootecnico svolgono anche molteplici ruoli positivi che rientrano in tutti gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (OSS) dell'Agenda globale 2030, con interazioni e anche compromessi molteplici e diversificati. Lo sviluppo di nuove tecniche e tecnologie per migliorare il settore zootecnico, sia dal punto di vista ambientale ma anche del benessere animale e sostegno alle comunità, rientra negli obiettivi di sviluppo sostenibile e può aiutare a migliorare molti aspetti della

sostenibilità in quanto i suoi obiettivi sono intimamente interconnessi e migliorandone alcuni questi possono influenzare anche tutti gli altri.



## ABSTRACT

The biggest challenge for the agro-zootechnical sector is to reduce the trade-offs between increased productivity and long-term sustainability.

Due to the growing food demand stimulated by the global population and globalization, the livestock sector will have to cope with an unprecedented food demand that will require, in addition to the increase in food products of animal origin, to intensify the exploitation of natural resources, generating an increase in the environmental impact of the sector.

The worldwide attention is now turned for many years to the negative effects generated towards the environment by anthropic activities and have been developed as a result world plans to be able to solve, and, or at least improve, the environmental damage that is triggering a chain of degenerative terrestrial events. All sectors participate in the production of emissions and generate environmental impact, including the livestock sector which, thanks to its worldwide expansion and differentiation of the sector, has a significant environmental impact.

Livestock sectors also play multiple positive roles that fall under all Sustainable Development Goals (SDGs) of the Global Agenda 2030, with multiple and diverse interactions and also trade-offs. The development of new techniques and technologies to improve the livestock sector, both from an environmental point of view but also from an animal welfare and community support point of view, it is part of the sustainable development goals and can help to improve many aspects

of sustainability as its goals are intimately interconnected and by improving some of them these can affect everyone else as well.

## 1. LO SVILUPPO SOSTENIBILE

### 1.1. INTRODUZIONE ALLO SVILUPPO SOSTENIBILE

La società globale è interconnessa come non lo è mai stata fino ad ora. Stiamo entrando in una nuova era dove aziende, tecnologie, idee, persone e purtroppo malattie epidemiche, attraversano i confini mondiali con un'intensità e una velocità che non hanno precedenti. Le tecnologie e le pratiche aziendali sono in rapido cambiamento, nonché le dimensioni e la struttura delle popolazioni. Si presentano dunque nuove opportunità e nuovi rischi, per tali ragioni siamo entrati ormai, per necessità, nell'era dello sviluppo sostenibile (Sachs, 2015).

“Lo sviluppo sostenibile, lungi dall'essere una definitiva condizione di armonia, è piuttosto un processo di cambiamento tale per cui lo sfruttamento delle risorse, la direzione degli investimenti, l'orientamento dello sviluppo tecnologico e i cambiamenti istituzionali siano resi coerenti con i bisogni futuri oltre che con gli attuali” (ONU, 1987). In parole più semplici si può definire che lo sviluppo sostenibile vuol dire imparare a vivere nei limiti di un solo pianeta, in maniera equa e dignitosa per tutti i popoli, senza sfruttare fino al depauperamento i sistemi naturali da cui noi tutti traiamo risorse e senza oltrepassare le loro capacità di assorbire scarti e rifiuti, generati principalmente dalle attività antropiche. E tutto questo senza compromettere le opportunità né delle generazioni presenti né di quelle future ([www.enelgreenpower.com](http://www.enelgreenpower.com)).

Lo sviluppo sostenibile è tanto un modo di considerare il mondo, con particolare attenzione alle interazioni sociali, ambientali e cambiamenti climatici,

quanto un modo per descrivere la nostra aspirazione ad una vita dignitosa, coniugando l'inclusione sociale, lo sviluppo economico e la sostenibilità ambientale (Sachs, 2015).

Per capire al meglio perché il concetto di sviluppo sostenibile è stato sviluppato bisogna partire da uno dei fattori che sta scatenando un'irreversibile reazione a catena, il sovrappollamento del nostro pianeta. Attualmente la popolazione della terra conta 8 miliardi di individui, circa 9 volte le persone che si stima vivessero nel 1700 agli albori della rivoluzione industriale. La popolazione mondiale continua ad aumentare ad un tasso di circa 75 milioni di persone all'anno, e si stima che saranno raggiunti i 9 miliardi di persone nei primi anni del 2040 (Sustainable Development Solution Network, 2012).

Ognuna di queste otto miliardi di persone è alla ricerca del proprio spazio all'interno dell'economia mondiale: le persone più povere lottano per avere cibo, acqua potabile, assistenza sanitaria e un rifugio; le persone che si trovano appena al di sopra della soglia di povertà sono alla ricerca di maggior benessere e di un futuro migliore per i propri figli. Per quella parte di popolazione che si trova nei paesi ad alto reddito spera che i progressi tecnologici saranno in grado di assicurare livelli di benessere ancora più elevati. In breve, 8 miliardi di persone cercano continuamente di migliorare la propria posizione economica e lo fanno nell'ambito di un'economia mondiale sempre più interconnessa attraverso la finanza, la tecnologia, il commercio, i flussi produttivi, le migrazioni e le reti sociali. Ma il nostro mondo continua a mostrarci una ricchezza sempre più crescente da un lato e un'estrema povertà dall'altro: miliardi di persone godono di buona salute e

longevità che le precedenti generazioni nemmeno si immaginavano, eppure almeno un miliardo di esseri umani vive in condizioni di miseria e povertà assoluta (Sachs, 2015).

Lo sviluppo sostenibile tenta di capire il senso delle interazioni fra i tre sistemi complessi fondamentali: società globale, economia mondiale e ambiente fisico terrestre (Sachs, 2015). Fu affrontata la criticità della tutela ambientale e dello sviluppo economico, sottolineando il legame che intercorre tra di essi, nel rapporto Brundtland redatto nel 1987 dalla Commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo (*World Commission on Environment and Development*). Il documento sottolineava come alla base dello sviluppo sostenibile ci fosse la convinzione che era necessario creare una forma di sviluppo presente che però non intaccasse l'ambiente per non negare la possibilità alle generazioni future di soddisfare le proprie esigenze di godimento delle risorse naturali (Gavazzi et al., 2019).

Il rapporto Brundtland definì che i punti critici e i problemi globali dell'ambiente sono dovuti alla grande povertà del sud del mondo e ai modelli di produzione e di consumo non sostenibili del nord. Il rapporto evidenziava la necessità dell'attuazione di una strategia in grado di integrare le esigenze dell'ambiente e dello sviluppo. Questa strategia è stata definita con il termine inglese "*sustainable development*", oggi di largo uso, e successivamente tradotto con "sviluppo sostenibile". La definizione data nel rapporto Brundtland del concetto di sviluppo sostenibile è stata: "lo sviluppo sostenibile è quello sviluppo che consente alla generazione presente di soddisfare i propri bisogni senza

compromettere la possibilità alle generazioni future di soddisfare i propri”  
(<https://www.une.org>).

Vent'anni dopo alla pubblicazione del rapporto Brundtland, durante la prima conferenza delle Nazioni Unite sull'ambiente (*Earth Summit*), vennero discussi a Rio de Janeiro due importanti accordi multilaterali, la convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici e la convenzione sulla diversità biologica (Sachs, 2015), e in questa sede lo sviluppo sostenibile venne definito ufficialmente come l'unica alternativa per un miglioramento della qualità della vita senza eccedere la capacità di carico degli ecosistemi. Di conseguenza è evidente come lo sviluppo economico e sociale debba realizzarsi compatibilmente con la salvaguardia dell'ambiente (UNCED, 1992). Appare quindi chiaro che la difesa dell'ambiente è una questione di principale importanza che riguarda il benessere sociale e lo sviluppo economico dell'intero pianeta (Gavazzi et al., 2019).

La multidisciplinarietà della sostenibilità si afferma nuovamente durante il vertice mondiale sullo sviluppo sostenibile di Johannesburg tenutosi nel 2002 attraverso i documenti fondamentali della dichiarazione sullo sviluppo sostenibile e più in particolare nel Piano d'Azione in cui si distingue più chiaramente il significato del triangolo della sostenibilità (sociale, economico e ambientale) come: tutela dell'ecosistema, sostenibilità economica e sociale, crescita produttiva delle risorse, crescita della difesa dei diritti umani, lotta alla povertà e salvaguardia della salute. Lo sviluppo sostenibile assume una natura multidimensionale e ognuna delle sue dimensioni mira al perseguimento di obiettivi ben specifici (Silvestri, 2015):

La sostenibilità economica: la capacità di un sistema economico di generare lavoro e reddito per garantire il sostentamento delle popolazioni sfruttando le risorse in maniera efficace stimolando la valorizzazione dei prodotti e dei servizi a livello territoriale.

La sostenibilità sociale: la capacità di generare e preservare condizioni di benessere, salute e sicurezza distribuite equamente nella popolazione mondiale.

La sostenibilità ambientale: la capacità di preservare nel tempo le funzioni fondamentali dell'ambiente garantendo al tempo stesso la tutela della sua integrità.

Lo sviluppo sostenibile si fonda quindi su un principio etico-politico che sottolinea come l'evoluzione degli aspetti economici e sociali deve essere in linea col miglioramento delle condizioni di vita delle popolazioni e con la salvaguardia delle risorse naturali (Gavazzi et al., 2019)

### 1.1.1. EVOLUZIONE DEL CONCETTO DI SVILUPPO SOSTENIBILE

Nel 1972 i leader mondiali si riunirono a Stoccolma dove si tenne la prima Conferenza delle Nazioni Unite sull'ambiente umano e, contemporaneamente, fu pubblicato dal Club di Roma *"I limiti dello sviluppo"*, un testo che sottolinea come le difficoltà derivanti dal coniugare crescita economica e sfruttamento delle risorse naturali che avrebbero generato grandi problemi nel ventunesimo secolo. Sia la portata della Conferenza delle Nazioni Unite che il manoscritto pubblicato dal Club di Roma portarono all'attenzione mondiale il tema dello sviluppo sostenibile (Gavazzi et al., 2019). Otto anni dopo, nel 1980, nella pubblicazione *World Conservation Strategy: Living Resource Conservation for Sustainable Development* dove si poté leggere: "gli esseri umani, nel ricercare lo sviluppo economico e il godimento delle ricchezze della natura, devono venire a patti con le realtà della limitatezza delle risorse e della capacità biologica degli ecosistemi, e devono tener conto dei bisogni delle generazioni future" (IUCN, 1980).

Il termine "sviluppo sostenibile" fu poi adottato e utilizzato nel rapporto Brundtland presentato nel 1987 e redatto dalla Commissione Mondiale sull'ambiente e lo sviluppo. Il documento analizzava la condizione mondiale nei confronti dell'ambiente e dello sviluppo con particolare enfasi sugli aspetti più problematici della relazione tra ambiente e sviluppo, integrato con proposte di intervento, non solo per organizzazioni internazionali e governi, ma anche rivolte ai singoli cittadini del mondo (Gavazzi et al., 2019).

Nel 1992, i rappresentanti delle varie nazioni, si incontrarono a Rio de Janeiro alla conferenza ONU su ambiente e sviluppo, chiamata anche conferenza di



Rio, dove vennero poste le basi per due importanti accordi multilaterali: la Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, che pose obblighi di carattere generale mirati a contenere e stabilizzare la produzione di gas che contribuiscono all'aumento dell'effetto serra, e la Convenzione sulla diversità biologica, che tutela le specie nei loro habitat naturali e pone anche l'obiettivo di riabilitare quelle in via di estinzione. Nella stessa sede, furono anche poste le basi per la Convenzione contro la desertificazione, che venne adottata un paio di anni dopo (Sachs, 2015). Sempre nel 1992 l'Unione Europea approvò il quinto piano d'azione ambientale per rendere operativi gli accordi firmati a Rio. Il piano mira ad un cambiamento dei modelli di comportamento della società, promuovendone la partecipazione di tutti i settori, rafforzando lo spirito di responsabilità che si estende dall'amministrazione pubblica, alle imprese e alla collettività. È essenziale un cambiamento radicale in tutti i settori che presuppone che la tutela dell'ambiente venga integrata nell'attuazione delle politiche comunitarie, non solo per il bene dell'ambiente, ma anche per il bene e il progresso degli altri settori (industria, energia, trasporti e agricoltura) ([www.mase.org.it](http://www.mase.org.it)).

Nel settembre del 2000, presso il quartier generale delle Nazioni Unite, al termine del Vertice del Millennio, 189 capi di Stato e di governo adottarono la Dichiarazione del Millennio, un patto globale che sottolinea le aspirazioni della comunità internazionali nel nuovo secolo. In questa dichiarazione si esprime l'auspicio di un mondo unito da valori comuni e impegnato con determinazione verso il raggiungimento della pace e alti livelli di vita. Nella dichiarazione sono state definite 8 sfide fondamentali, i cosiddetti Obiettivi di Sviluppo del Millennio (MDG),

che richiedono di essere affrontate e vinte entro il 2015: eliminare la povertà e la fame, assicurare l'istruzione elementare, promuovere l'uguaglianza di genere, diminuire la mortalità infantile, migliorare la salute materna, combattere le principali malattie, assicurare la stabilità ambientale e sviluppare una partnership globale per lo sviluppo (<https://unipd-centrodirittiumani.it>).

Dodici dopo, nel 2012, i rappresentanti mondiali si rincontrarono per una terza volta al Summit di Rio, anche chiamato Summit Rio+20, per la Conferenza sullo sviluppo sostenibile. Durante questa conferenza, vennero esaminati quarant'anni di politiche ambientali e vent'anni di convenzioni internazionali, e si giunse alla conclusione che, le stime fatte nel 1972 a Stoccolma alla conferenza ONU, erano corrette: le sfide di riuscire a coniugare crescita economica, inclusione sociale e gestione delle risorse naturali non si erano concluse. Nel 1972 la popolazione mondiale era pari a 3,8 miliardi di persone mentre, nel 2012 era praticamente raddoppiata, 7,2 miliardi. Nel 1972, la concentrazione di biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>) era pari a 350 parti per milione (ppm) e, ogni anno cresceva di circa un ppm. Nel 2012 è di 400 ppm e cresceva a ritmo di oltre due ppm all'anno. E ancora, nel 1972 la perdita di biodiversità era un concetto praticamente sconosciuto mentre, nel 2012 i leader mondiali erano consapevoli di vivere la sesta grande estinzione. Si resero quindi conto, durante Rio+20, che le cose non stavano migliorando e anzi la sfida si era fatta ancora più ardua.

Un altro problema con cui dovettero scontrarsi i rappresentati mondiali fu che i primi trattati ambientali, del Summit della terra del 1992, non erano riusciti nel loro intento. Considerando tutto ciò, nel 2012, venne ribadita la necessità di

sviluppare ed applicare un nuovo e drastico approccio che venne dichiarato, nel documento finale, *“il futuro che vogliamo”* (Sachs, 2015).

“Ci impegniamo a rinvigorire l’alleanza globale per lo sviluppo sostenibile che abbiamo lasciato a Rio de Janeiro nel 1992. Riconosciamo la necessità di conferire un nuovo impulso alla nostra ricerca comune sullo sviluppo sostenibile e ci impegniamo a collaborare con la società civile e gli altri stakeholder per affrontare le difficoltà del processo attuativo” (UN General Assembly (UNGA), 2012, p.8).

I leader mondiali sottolinearono poi un altro aspetto molto importante: tra tutte le sfide dello sviluppo sostenibile, la più grave e urgente era la lotta alla povertà estrema, impegno già assunto nel 2000 con l'adozione degli Obiettivi di sviluppo del millennio (MDG), e dichiararono:

“Sradicare la povertà è la più grande sfida globale che il mondo di oggi deve affrontare e un requisito indispensabile per lo sviluppo sostenibile. In questo senso siamo impegnati a liberare l’umanità dalla miseria e dalla fame considerandola una questione della massima priorità [...]. Riaffermiamo l’impegno a fare ogni sforzo per accelerare il raggiungimento degli obiettivi dello sviluppo concordati internazionalmente, compresi gli obiettivi di sviluppo del millennio (MDG) entro il 2015” (UN General Assembly (UNGA), 2012, P.1).

Sempre durante Rio+20, i leader riconobbero la forza e l'utilità nella lotta alla povertà estrema degli MDG nei loro 12 anni di vita, e giunsero alla conclusione di adottarli per lo sviluppo sostenibile e dichiararono:

“Riconosciamo inoltre l'importanza e l'utilità di una serie di obiettivi di sviluppo sostenibile (SDG) [...]. Gli obiettivi devono affrontare e integrare in modo equilibrato tutte e tre le dimensioni dello sviluppo sostenibile e le loro interconnessioni. Sottolineiamo anche che gli obiettivi di sviluppo sostenibile dovranno essere orientati all'azione, concisi e facili da comunicare, in numero limitato, ambiziosi, globali e universalmente applicabili a tutti i paesi tenendo conto delle diverse realtà, capacità e i livelli di sviluppo nazionale e rispettosi delle politiche e delle priorità nazionali. Riconosciamo anche che gli obiettivi dovranno affrontare in modo mirato i settori chiave per il raggiungimento dello sviluppo sostenibile, sotto la guida di questo documento finale. I governi devono gestire l'attuazione con il coinvolgimento attivo di tutti gli stakeholder a seconda dei casi” (UN General Assembly (UNGA), 2012, P.43).

Vennero perciò sviluppati gli *Sustainable Development Goals* (SDG) che a differenza degli MDG, sarebbero stati applicati a tutto il pianeta, anziché esclusivamente ai paesi poveri e coinvolgendo i paesi ricchi solo come donatori di fondi.

Successivamente a Rio+20, le Nazioni Unite crearono un network globale dedicato alla risoluzione dei problemi legati allo sviluppo sostenibile ovvero il *Sustainable Development Solution Network (SDSN)*. Alla sua base c'è l'idea che il mondo abbia bisogno, non solo di nuovi obiettivi e motivazioni, ma anche di un nuovo modo di risolvere tutte le questioni riguardanti la salute, l'istruzione, l'agricoltura, le città, i sistemi energetici e la tutela della diversità biologica. L'SDSN ha proposto 10 obiettivi, ognuno dei quali ha tre target specifici e diversi indicatori numerici, per seguirne i progressi compiuti (Sachs, 2015).

SDG 1: Porre fine alla povertà estrema e alla fame. Il suo obiettivo è quello di eliminare qualsiasi forma di povertà estrema, in altre parole, raggiungere gli MDG relativi a fame, ritardo nella crescita infantile, malnutrizione, sicurezza alimentare e offrire un supporto ai paesi più vulnerabili. È stato adottato questo obiettivo dalla Banca Mondiale nel 2013 che si è impegnata a contribuire all'eliminazione della povertà estrema entro il 2030.

SDG 2: Raggiungere lo sviluppo economico compatibile con i limiti del pianeta. Questo obiettivo sostiene la crescita economica, soprattutto nei paesi in via di sviluppo, ma solo se realmente compatibili con i limiti del pianeta, che implica l'adozione di nuovi sistemi di produzione energetica, agricola, progettazione e realizzazione delle città.

SDG 3: Assicurare un apprendimento efficace a tutti i bambini e ai giovani, per la vita e il sostentamento. Ogni bambino deve poter sviluppare al meglio le capacità di cui avrà bisogno per essere in futuro produttivo e avere una vita soddisfacente, e trovare un lavoro dignitoso.

SDG 4: Raggiungere l'uguaglianza di genere, l'inclusione sociale e i diritti umani per tutti. La discriminazione a tutti i livelli costituisce una barriera enorme e persistente alla partecipazione alla vita economica. Questo obiettivo include anche le eccessive disuguaglianze di reddito e ricchezza e il concetto di povertà relativa, situazioni non estreme di povertà ma che comunque impediscono alle famiglie di prendere parte in modo dignitoso la vita sociale.

SDG 5: Garantire la salute e il benessere a tutte le età. Questo obiettivo sottolinea che bisogna riuscire a garantire la copertura sanitaria universale in qualsiasi stadio della vita, soprattutto per i servizi essenziali, al fine di assicurare che tutti i cittadini ricevano servizi sanitari di qualità, senza dover andare incontro a difficoltà finanziarie.

SDG 6: Migliorare i sistemi di coltivazione e aumentare la prosperità delle aree rurali. Questo obiettivo sottolinea la necessità di migliorare le pratiche agricole, le infrastrutture rurali e l'accesso alle risorse naturali per incrementare la

produttività delle attività agricole, l'allevamento e la pesca. Questo obiettivo inoltre riconosce la centralità di un'agricoltura sostenibile e di conseguenza di un'offerta alimentare sostenibile

SDG 7: Rendere le città inclusive e produttive. Questo obiettivo mira a rendere le città socialmente inclusive, economicamente produttive, ambientalmente sostenibili e resilienti al cambiamento climatico.

SDG 8: Frenare il cambiamento climatico indotto dall'uomo e assicurare l'energia sostenibile. Questo obiettivo mira a ridurre le emissioni di gas serra derivanti dall'agricoltura, dall'urbanizzazione, dall'industria e del cambiamento di destinazione del suolo.

SDG 9: Assicurare i servizi ecosistemici e la biodiversità, nonché la buona gestione delle acque e delle altre risorse naturali. A livello locale, regionale e globale tutti gli ecosistemi, marini e terrestri, devono essere gestiti e monitorati in modo da assicurare la sopravvivenza di sistemi di supporto alla vita e il mantenimento della biodiversità.

SDG 10: Trasformare la governance ai fini dello sviluppo sostenibile. Gli stakeholders, le attività economiche e il settore pubblico devono impegnarsi a

garantire una buona governance. I finanziamenti rivolti alla riduzione della povertà, inclusi gli sforzi nell'eliminazione dei cambiamenti climatici, devono essere definiti in base a diritti e alle responsabilità globali.

Nel loro complesso, questi obiettivi cercano di fornire un indirizzo chiaro, specifico, misurabile e comprensibile, nonché di stimolare un cambiamento lontano dal cammino percorso finora, e che conduca verso lo sviluppo sostenibile (Sachs, 2015).

#### 1.1.2. LIMITI DEL PIANETA

Viene spontaneo, dopo aver presentato i concetti alla base dello sviluppo sostenibile, chiedersi se la crescita economica, uno degli obiettivi dei paesi in via di sviluppo, possa conciliarsi con la sostenibilità ambientale. Oppure se la Terra ha risorse adeguate (acqua, terra, aria e servizi economici) per sostenere un'economia mondiale in crescita? E, ci sono limiti alla crescita? Se la Terra stessa è finita, come possono continuare a crescere l'economia e la popolazione? (Sachs, 2015).

Queste sono alcune delle domande alla base dello sviluppo sostenibile. Ma la vera domanda è: si possono raggiungere veramente gli obiettivi di un mondo prospero, socialmente inclusivo e ambientalmente sostenibile? Già a partire dal XVIII secolo gli scienziati si chiedevano se il miglioramento degli standard di vita, ottenuti con la nascita e l'avanzare delle prime tecnologie, si sarebbe rivelato



illusorio man mano che il mondo rimaneva a corto di risorse primarie e se nel lungo periodo la scarsità di risorse condannerà l'umanità alla povertà. Tutti i miglioramenti che l'elevarsi degli standard di vita porteranno saranno solo un punto positivo temporaneo, che in futuro l'umanità pagherà sotto forma di crisi ambientale, oppure porteranno ad un vero cambiamento ed a una presa di coscienza sulle problematiche ambientali e sociali? Sono timori di cui si sente parlare sempre più spesso, a causa del fatto che le crisi relative al cambiamento climatico, degradazione del suolo, siccità e perdita di biodiversità continuano ad aggravarsi (Sachs, 2015).

Sachs (2015) ritiene che prestando particolare attenzione e valutando criticamente e in modo scientifico le crescenti minacce ambientali, si possano trovare i modi per armonizzare la sostenibilità ambientale con la crescita nel tempo. Questo ottimismo sta al cuore dello sviluppo sostenibile quale idea normativa e aspirazione di vita. Prendendo le dovute precauzioni, rispettando i vincoli delle risorse, riconoscendo la pericolosa distruzione dell'ambiente che stiamo perpetuando sfrenatamente e cambiando rotta, l'umanità ha la possibilità di raggiungere i suoi obiettivi ponendo fine alla povertà, innalzando gli standard di vita, garantendo l'inclusione sociale e proteggendo l'ambiente per noi stessi, per le altre specie e per le generazioni future. Per fare tutto ciò dobbiamo capire i vari limiti naturali, i limiti del pianeta, che dobbiamo rispettare in quanto amministratori responsabili della terra (Sachs, 2015).

L'influenza dell'uomo sulle risorse naturali del pianeta non è difficile da dimostrare. La dimostrazione deriva principalmente da un'enorme quantità di fenomeni naturali e antropici che si verificano sul pianeta ad un numero sempre più

maggiore di interazioni che possono intercorrere tra loro. L'ecosistema, quindi, è un tipo di sistema complesso, nonché un sistema nel quale la conoscenza dei suoi elementi costituenti non garantisce la comprensione del loro insieme (Gavazzi et al., 2019). Quantificare l'impatto antropico sul pianeta è un'impresa molto complessa, ma nonostante questa difficoltà il gruppo di ricerca dello *Stockholm Resilience Center*, gestito da Johan Rockström, ha proposto un sistema di verifica teorica per l'individuazione di parametri che siano significativi degli effetti antropici sulla biosfera. Il punto focale di questo sistema sta nel concetto di identificare i limiti del pianeta (Rockström et al., 2009).

Questi "limiti" consistono in diversi parametri che misurano nuove *Planetary Life Support System*, cioè processi essenziali per il mantenimento di condizioni adatte alla vita umana sulla terra, ad esempio: integrità della biosfera, cambiamento climatico, deterioramento dello strato di ozono, flussi biogeochimici di fosforo e azoto, acidificazione degli oceani, consumo di acqua dolce, sfruttamento del suolo, inquinamento chimico e concentrazione di aerosol in atmosfera. Per ciascuno di questi sistemi sono stati individuati dei parametri di riferimento, definendo una soglia oltre la quale il sistema potrebbe andare incontro a cambiamenti irreversibili. Questi parametri rappresentano una stima di una soglia sotto la quale è definita una zona di sicurezza, dove il rischio è trascurabile, una zona di incertezza, dove la probabilità di cambiamento aumenta e una zona di pericolo nella quale il rischio di cambiamenti ambientali irreversibili diventa elevato (Gavazzi et al., 2019). Le tre zone operative sono rappresentate in Figura 1 dove l'ombreggiatura verde più interna rappresenta lo spazio operativo sicuro proposto

per i nove limiti planetari. I semicerchi rossi rappresentano una stima della posizione corrente per ogni variabile sopra citata. E i confini di tre sistemi (tasso di perdita di biodiversità, cambiamenti climatici e interferenza umana con il ciclo dell'azoto) sono già stati superati (Rockström et al., 2009).

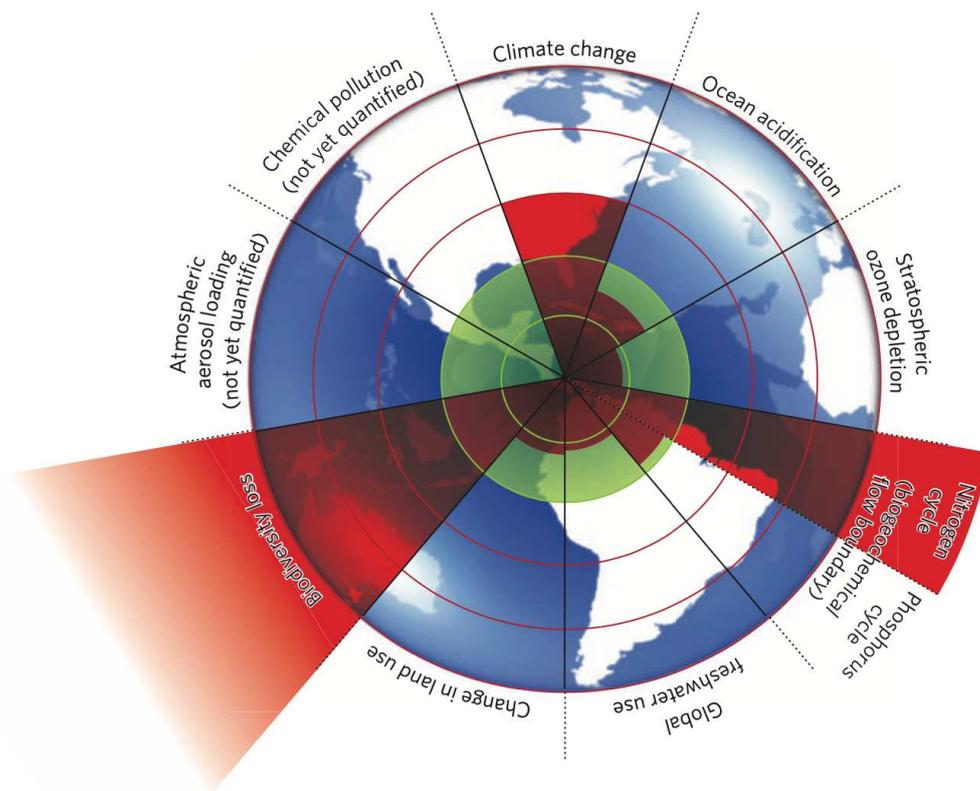


Figura 1. I nove limiti del pianeta e le zone di sicurezza, incertezza e pericolo (Rockström et al., 2009).

In Figura 1 sono rappresentati i nove principali limiti che il pianeta corre il rischio di oltrepassare. Il primo limite riguarda il cambiamento climatico che è

causato dai crescenti livelli di gas ad effetto serra (GHG) nell'atmosfera. I principali gas serra comprendono anidride carbonica, metano e perossido d'azoto, e il più impattante tra questi è proprio l'anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ) prodotta dall'uomo dalla combustione del carbone, del petrolio e del gas. Questi principali gas ad effetto serra, accompagnati da altre sostanze chimiche, hanno una caratteristica in comune: riscaldano il pianeta. A causa dell'attività industriale la concentrazione di GHG è aumentata esponenzialmente nel corso del secolo passato e la terra si è riscaldata di  $0,9\text{ }^\circ\text{C}$  rispetto alle temperature pre-rivoluzione industriale. L'innalzamento delle temperature sta spingendo il pianeta verso un nuovo clima e il cambiamento climatico minaccia la produzione globale di cibo, la sopravvivenza delle specie, minaccia di scatenare eventi climatici estremi, e infine, minaccia di scatenare un incontrollabile innalzamento del livello degli oceani che potrebbe modificare il profilo dei continenti (Sachs, 2015).

Il secondo limite del pianeta è strettamente correlato al primo, ed è l'acidificazione degli oceani, causato principalmente dall'innalzamento della concentrazione atmosferica di  $\text{CO}_2$ . Questo gas si dissolve negli oceani producendo acido carbonico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) che si decompone in ione idrogeno ( $\text{H}^+$ ) e bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ). L'aumento dello  $\text{H}^+$  porta un incremento dell'acidità degli oceani che minaccia vari generi di vita marina (Sachs, 2015).

Il terzo limite è l'esaurimento dell'azoto stratosferico, principalmente causato da sostanze chimiche come i clorofluorocarburi (CFC) che tendono a salire in atmosfera e a dissociarsi, ossia a dividersi in molecole più piccole. È proprio il cloro contenuto nei CFC che attacca l'ozono ( $\text{O}_3$ ) negli strati inferiori dell'atmosfera

(stratosfera) assottigliando la barriera protettiva contro i raggi violenti del sole (Sachs, 2015).

Il quarto limite del pianeta, come mostrato in Figura 1, è l'inquinamento provocato da flussi eccessivi di azoto e di fosforo, causato principalmente dall'utilizzo massiccio di fertilizzanti chimici da parte dell'uomo. Il danno è provocato da una parte dell'azoto e del fosforo presente nei fertilizzanti che non viene assorbito dalle culture, ma viene trasportato dall'aria fino nelle falde freatiche e nei fiumi, con forti concentrazioni negli estuari, dove i fiumi incontrano gli oceani. L'alta concentrazione di queste due sostanze chimiche porta a pericolosi cambiamenti ecologici come l'eutrofizzazione (elevata concentrazione di nutrienti che porta alla proliferazione di alghe) (Sachs, 2015).

Il quinto limite deriva dall'esaurimento di acqua dolce causato dal suo uso da parte dell'umanità, specialmente per la produzione di cibo, cosa che in molte parti del mondo sta prosciugando le più importanti fonti di acqua dolce. La penuria di acqua potabile sarà aggravata in futuro da altri problemi come: la crescita demografica, i cambiamenti delle precipitazioni atmosferiche, l'uso industriale di acqua e la perdita di acqua dolce proveniente dai ghiacciai che probabilmente scompariranno a causa del riscaldamento globale (Sachs, 2015).

Il sesto limite è il cambiamento nell'uso del suolo che l'umanità sfrutta per produrre cibo, per il pascolo degli animali, per i prodotti della foresta e per espandere le città. Il maluso del suolo è anche rappresentato dalla deforestazione che, oltre ad essere causa della perdita di habitat ed ecosistemi, accresce i livelli di

CO<sub>2</sub> nell'atmosfera andando così a sommarsi al cambiamento climatico prodotto dall'uomo.

Il settimo limite, uno dei più problematici, è la perdita di biodiversità. L'alimentazione, l'acqua dolce, la produttività agricola, la salute e la sopravvivenza dell'umanità dipendono in primo luogo dalla biodiversità e quando questa subisce alterazioni le funzioni ecosistemiche cambiano considerevolmente (Sachs, 2015).

L'ottavo limite è il carico di aerosol in atmosfera causato dall'immissione nell'area di piccole particelle generate dalla combustione del carbone, del gasolio, biomasse e altre fonti inquinanti che provocano un massiccio inquinamento dell'aria.

L'ultimo limite (il nono) è quello dell'inquinamento chimico industriale generato per la maggior parte dall'industria petrolchimica, mineraria e la produzione siderurgica che, oltre a utilizzare ingenti quantità di terreno e acqua per le loro lavorazioni, immettono nell'ambiente grandissimi quantitativi di sostanze inquinanti, molte delle quali si accumulano. Queste sostanze sono dannose in egual misura sia per gli esseri umani che per le altre specie che popolano la terra, sia animali che vegetali.

Se l'umanità oltrepasserà i limiti stimati dal gruppo di ricerca dello *Stockholm Resilience Center* vorrà dire che la pressione umana sull'ambiente eccede la capacità dei sistemi naturali di assorbirle con un conseguente cambiamento nel funzionamento degli ecosistemi (Sachs, 2015).

Come si può notare nella Figura 1 le zone colorate in rosso mostrano quanto il mondo si stia avvicinando ad oltrepassare ciascuno di questi limiti; infatti, nel caso relativo al flusso dell'azoto e alla perdita di biodiversità l'intero spicchio è colorato di rosso: ciò significa che l'umanità ha già oltrepassato il limite di pericolo. Negli altri casi ci troviamo ancora in zone di incertezza, tranne che per l'inquinamento chimico e il carico di aerosol che sono due parametri ancora da quantificare. È probabile che l'intero cerchio, durante il ventunesimo secolo, virerà sempre più verso una zona di incertezza e/o di pericolo, salvo che non intervenga un radicale cambiamento di strategia. In altre parole, l'umanità oltrepasserà i limiti operativi di sicurezza a meno che il mondo non adotti una strategia intesa a conseguire uno sviluppo sostenibile (Sachs, 2015).

### 1.1.3. AGENDA 2030 E GLI OBIETTIVI PER LO SVILUPPO SOSTENIBILE

I capi di Stato, di Governo e altri Rappresentanti si riunirono dal 25 al 27 settembre 2015 al quartier generale delle Nazioni Unite a New York, USA, per celebrare il settantesimo anniversario della Fondazione dell'ONU, dove stabilirono gli obiettivi globali per lo sviluppo sostenibile. È stata presa, in questa sede, una decisione storica su una serie lungimirante di obiettivi e traguardi universali, trasformativi e incentrati sulle persone (ONU, 2015). Fu quindi sottoscritta l'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile, un programma d'azione per le persone, la prosperità e il pianeta. L'Agenda persegue il rafforzamento della pace universale e lo sradicamento della povertà in tutte le sue forme e dimensioni, soprattutto la

povertà estrema che è la più grande sfida globale e un requisito indispensabile per lo sviluppo sostenibile.

L'Agenda 2030 si compone di 17 obiettivi per lo sviluppo sostenibile (*Sustainable Development Goals*, SDGs), mostrati in Figura 2, in un programma d'azione per un totale di 169 target, o traguardi, che coinvolgono tutti i paesi del mondo. Gli obiettivi per lo sviluppo si basano sugli obiettivi di Sviluppo del Millennio (*Millennium Development Goals*) e mirano al completamento di ciò che questi non sono stata in grado di realizzare (<https://unric.org/it/agenda-2030>). Tutti i 17 obiettivi sono interconnessi e indivisibili e comprendono le tre dimensioni dello sviluppo sostenibile: la dimensione economica, sociale ed ambientale.

Gli SDG si pongono l'obiettivo di porre fine alla povertà e alla fame in ogni luogo, di sradicare le disuguaglianze all'interno delle Nazioni e fra di esse, di costruire società pacifiche, inclusive e giuste, di proteggere i diritti umani e promuovere l'uguaglianza di genere e l'emancipazione femminile, di combattere per la salvaguardia del pianeta e delle sue risorse naturali (ONU, 2015).

Gli SDG si articolano intorno a cinque nuclei tematici:

Person: porre fine alla povertà e alla fame, in tutte le loro forme e dimensioni, e ad assicurare che tutti gli esseri umani possono realizzare il proprio potenziale con dignità e uguaglianza in un ambiente sano.

Pianeta: proteggere il pianeta dalla degradazione, attraverso il consumo e una produzione consapevole, gestendo le sue risorse naturali in maniera sostenibile



e adottando misure urgenti riguardo il cambiamento climatico, in modo che il pianeta possa soddisfare i bisogni delle generazioni presenti e di quelle future.

Prosperità: assicurare che tutti gli esseri umani possono godere di vite prosperose e soddisfacenti, e che il progresso economico, sociale e tecnologico avvengano in armonia con la natura.

Pace: promuovere società pacifiche, giuste e inclusive che siano libere dalla paura e dalla violenza.

Partnership: mobilitare i mezzi necessari per implementare questa Agenda attraverso una collaborazione globale per lo sviluppo sostenibile, basata su uno spirito di rafforzata solidarietà globale, concentrato in particolare sui bisogni dei più poveri e dei più vulnerabili, e con la partecipazione di tutti i Paesi, di tutte le parti in causa e di tutte le persone (Cioffi et al; 2022).

Gli SDG racchiudono sfide globali cruciali per la sopravvivenza dell'umanità, e hanno l'alto scopo di assicurare una vita giusta e pacifica sulla terra, inclusiva e prospera in armonia con la natura, eliminando povertà e fame, garantendo uguaglianza e dignità e garantendo un mondo ricco e prospero alle generazioni future. Gli obiettivi sono rivolti ai governi, settore privato, società civile e ad ogni singolo cittadino, e tutti insieme devono cooperare affinché gli obiettivi siano raggiunti (Cioffi et al; 2022).



Figura 2. Gli obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile (<https://unric.org/it/agenda-2030/>).

## 1.2. AGENDA GLOBALE PER IL BESTIAME SOSTENIBILE- GASL

L'Agenda globale per il bestiame sostenibile, GASL, è una partnership di soggetti interessati nello sviluppo sostenibile del settore zootecnico. Questo progetto ha l'interesse di unire il settore pubblico e privato, i produttori, le istituzioni accademiche e di ricerca, le ONG, i movimenti sociali e le fondazioni, per creare una visione comune verso la sostenibilità, e catalizzare un cambiamento coerente e collettivo verso la sostenibilità del settore zootecnico ([www.iyrp.info/global-agenda-sustainable-livestock-gasl](http://www.iyrp.info/global-agenda-sustainable-livestock-gasl)).

L'Agenda risponde alla necessità di un'azione collettiva per affrontare le sfide senza precedenti del settore zootecnico. Il settore deve far fronte a una crescente domanda di carne, uova e latte stimolata da una popolazione in costante

crescita, ma anche stimolata da una crescente ricchezza e urbanizzazione. Si prevede, infatti, che la domanda di prodotti di origine animale crescerà del 70% entro il 2050 ([www.livestockdialogue.org](http://www.livestockdialogue.org)).

Il settore zootecnico è un grande utilizzatore di suolo, acqua e sostanze nutritive, e la crescita del settore deve essere conciliata con la crescente scarsità di queste risorse. Uno degli obiettivi dell'Agenda è quello di ridurre l'impatto delle attività zootecniche sui cambiamenti climatici. Allo stesso tempo, l'aumento della domanda di alimenti di origine animale dovrebbe prevedere l'inclusione dei due miliardi di persone in più sul pianeta, stimati nel 2050, che ricavano almeno una parte del loro sostentamento dal bestiame. Il bestiame è spesso l'ultima risorsa per le persone che mancano di altri beni e forme di reddito, pertanto, nessun altro settore è più importante per la vita e il sostentamento dei popoli ([www.livestockdialogue.org](http://www.livestockdialogue.org)).

Pertanto, l'obiettivo primario dell'Agenda mira a catalizzare e guidare lo sviluppo sostenibile del settore zootecnico attraverso il miglioramento di tre aree principali: sicurezza alimentare globale, salute, equità, crescita, risorse e clima. A tal fine, i partner dell'Agenda promuovono il dialogo, la condivisione di conoscenze e l'interazione multistakeholder a livello internazionale e locale. Promuovono lo sviluppo di analisi per migliorare la comprensione sulla sostenibilità del settore zootecnico, fornire orientamento strategico al settore, promuovere e sostenere le innovazioni e il cambiamento delle pratiche locali più impattanti sull'ambiente ([www.livestockdialogue.org](http://www.livestockdialogue.org)).

### 1.2.1. LE SFIDE DEL SETTORE ZOOTECNICO NELLO SVILUPPO SOSTENIBILE

Il settore zootecnico svolge molteplici ruoli, prevalentemente positivi, in tutti i 17 obiettivi dello sviluppo sostenibile (OSS). L'Agenda globale per il bestiame sostenibile (GASL) definisce il bestiame sostenibile come: “per essere sostenibile, la crescita del settore zootecnico deve affrontare contemporaneamente le principali questioni ambientali, sociali e sfide economiche, che includono: crescente scarsità di risorse naturali, cambiamenti climatici, povertà diffusa, insicurezza alimentare e minacce globali per la salute animale, umana e il benessere animale” (GASL, 2021). Questa definizione è influenzata da due fattori chiave: la crescente domanda di prodotti di origine animale e l'estrema variabilità del settore.

Il bestiame viene prodotto in modi diversi in tutto il mondo: esistono aziende agricole industriali su larga scala (produzione ad alta intensità di capitale), allevamenti su piccola scala, culture miste e su vaste terre pastorali, che in totale costituiscono oltre un quarto della superficie terrestre. Per alcuni popoli la parola “bestiame” significa solo un pezzo di carne confezionata o una bottiglia di latte sullo scaffale del supermercato, mentre, in altri luoghi “bestiame” indica animali che fanno parte integrante della gestione dell'economia domestica. Questa profonda diversità del significato implica che, per migliorare gli impatti positivi e mitigare gli impatti negativi del bestiame sullo sviluppo, e migliorare la sostenibilità del settore zootecnico, sono essenziali diverse azioni a seconda del sistema di produzione, il contesto agro-climatico e socioeconomico (Schneider e Tarawali, 2021).

È previsto che la domanda di prodotti di origine animale aumenterà di oltre il 70% tra il 2005 e il 2030 (Tilman e Clark, 2014) inoltre, la domanda alimentare sta

crescendo in modo modesto nei paesi ad alto reddito (HIC: *High Income Countries*), mentre, nei paesi a basso e medio reddito, cresce rapidamente (LMIC: *Low and Middle Income Countries*). In alcuni casi, questa crescita, come avviene in Africa, è dovuta all'aumento della popolazione, mentre, in altre regioni del mondo, è imputabile principalmente all'aumento dei redditi (Schneider e Tarawali, 2021). Possono essere messe in pratica diverse metodologie per soddisfare la domanda crescente di prodotti di origine animale. Negli LMIC, per i quali la domanda sta aumentando maggiormente, questa crescita potrà essere assecondata, almeno in breve termine, intensificando in modo sostenibile le piccole e medie aziende agricole. Nelle HIC, la sfida più grande nella produzione su larga scala e ad alta densità, sarà quella di capire come adattarsi alla riduzione della domanda in modo sostenibile (Schneider e Tarawali, 2021).



Figura 3: I nove obiettivi di sviluppo sostenibile (OSS) con forti legami con il settore zootecnico, identificati dall'Agenda globale per il bestiame sostenibile (GASL).

All'interno dell'Agenda 2030, i sistemi di allevamento sono rilevanti per tutti gli OSS, mentre, per l'Agenda globale per il bestiame sostenibile (GASL), questa riconosce 9 OSS, rappresentati in Figura 3, che sono di particolare rilevanza per il settore, includono: SDG 17, l'obiettivo che sostiene ogni altro obiettivo e altri 8 obiettivi a cui il bestiame contribuisce in modo diretto.

Nell'attuale piano d'azione dell'Agenda globale per un allevamento sostenibile, ci si concentra fundamentalmente su quattro settori della sostenibilità, mostrati in Figura 4: sicurezza alimentare e nutrizionale, mezzi di sussistenza e crescita economica, benessere e salute animale, uso delle risorse naturali e clima. Questi quattro settori sono stati approvati e adottati dal Forum Globale per l'alimentazione e l'agricoltura tenutosi a Berlino nel 2018 (FAO, 2018) per concentrare al meglio le azioni a sostegno del raggiungimento degli OSS da parte del GASL.



Figura 4. Rapporto tra obiettivi di sviluppo sostenibile (OSS) e i quattro settori di GALS.

Il settore zootecnico ricopre un ruolo fondamentale all'interno degli OSS (Tilman e Clark, 2014; International Livestock Research Institute, 2019). Oltre a fornire il 18% delle calorie totali e il 40% delle proteine delle diete a livello globale (International Livestock Research Institute, 2019), gli alimenti di origine animale forniscono micronutrienti essenziali, quali vitamina A, B-12, riboflavina, calcio, ferro e zinco (Schneider e Tarawali, 2021). I prodotti animali come latte, carne e uova

aiutano nel fornire questi micronutrienti, difficili da ottenere dagli alimenti di origine vegetale (Randolph et al., 2007), combattendo le carenze di micronutrienti o “fame nascosta”, aiutando a ridurre la mortalità e la malnutrizione infantile. Al contrario, l'eccessivo consumo di alimenti di origine animale è spesso associato a malattie causate dall'obesità. Infatti, molte economie emergenti stanno affrontando un doppio problema: malnutrizione, associata ad alcuni segmenti della popolazione denutrita, sovrappeso e obesità, associata ai segmenti più ricchi della società. Infatti, nel 2016, il 39% della popolazione mondiale in età pari a 18 anni o superiore, soffriva di sovrappeso, e il 13% soffriva di obesità (WHO, 2020). Di conseguenza, per una parte della popolazione mondiale, poter disporre di una dieta equilibrata e sana in futuro significherà consumare meno prodotti di origine animale, mentre, per altri, significherà consumarne di più (Schneider e Tarawali, 2021).

Oltre a fornire alimenti essenziali in molte parti del mondo, la popolazione zootecnica è parte integrante della sicurezza alimentare, grazie all'intima connessione tra l'allevamento e le coltivazioni di colture. L'allevamento zootecnico contribuisce alla produzione agricola in misura tale che, oltre la metà dei cereali prodotti in molti paesi in via di sviluppo, può essere prodotta solo perché il bestiame è parte integrante del sistema. Tale produzione è una produzione integrata, il che significa che gli animali possono trasformare materiali/substrati che per l'uomo non sono commestibili (erba, paglia e reflui agroindustriali) in proteine di alta qualità (Teenstra et al., 2016). Tuttavia, nei paesi sviluppati, la formulazione di mangimi può essere basata su cereali commestibili per l'uomo e/o coltivati su terreni che potrebbero essere utilizzati per produrre colture alimentari finalizzate



all'alimentazione umana. Perciò, trovando sistemi per evitare tale competizione alimentare, si può migliorare il contributo del bestiame alla fine della fame (SDG 2) e questi sistemi dovranno includere: un miglior impiego dei sottoprodotti ricavati dalle colture (Blümmel et al., 2018) e un miglioramento dell'efficienza della conversione alimentare attraverso il miglioramento genetico (Tolkamp e al., 2010). Infine, il consumo e la produzione responsabili (SDG 12) ridurranno anche la concorrenza alimentare.

#### 1.2.2. SALUTE E BENESSERE ANIMALE (*ONE HEALTH*)

La salute e il benessere animale riguardano tutti e tre i pilastri dello sviluppo sostenibile, ma soprattutto, il pilastro del benessere sociale, in quanto, esiste una profonda e forte connessione tra salute umana, benessere e salute animale. Questa relazione riguarda soprattutto gli OSS 2 e 3, poiché affronta l'interfaccia cruciale della salute degli animali e della salute umana, con un'attenzione particolare rivolta alle zoonosi, malattie di origine animale, e la resistenza antimicrobica, che sono le principali sfide alla sostenibilità che devono essere affrontate. L'alleanza tripartita tra l'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura (FAO: Food and Agriculture Organization), L'Organizzazione mondiale per la salute animale (OIE ovvero *Office International des Epizooties* che promuove l'uso del suo nome completo, *World Organization for Animal Health*, con l'acronimo WOA) e l'Organizzazione mondiale della sanità (OMS) (FAO, 2020), sottolineano che, un approccio *One Health* è un approccio ottimale per prevenire e rispondere a focolai e pandemie riconducibili a malattie

zoonotiche. L'approccio *One Health*, così come l'approccio *One Welfare* (García Pinillos et al., 2016), è ottimale anche oltre i confini del controllo delle malattie infettive ed è essenziale per il raggiungimento degli OSS. L'adozione di un approccio *One Health*, che unisce scienza medica, veterinaria e ambientale, aiuterà i governi, le imprese e la società civile a raggiungere una salute duratura che coinvolga persone, animali e ambiente. Una delle tante sfide che richiede questo tipo di approccio, è quella riguardante la resistenza antimicrobica (AMR: *AntiMicrobial Resistance*), che è una minaccia in rapida crescita per la salute umana e animale (Schneider e Tarawali, 2021).

Essendo il settore zootecnico uno dei principali consumatori di antibiotici, il bestiame contribuisce in modo significativo alla resistenza microbica globale, quindi, stimolare la diminuzione dell'uso di antibiotici come promotore della crescita (per altro bandita dalla legislazione europea) e concentrarsi sulla migliore cura e benessere degli animali, risulterà vitale per ridurre la minaccia della resistenza antimicrobica. Sarà quindi essenziale affrontare questa sfida adottando l'approccio *One Health* nei numerosi e diversi sistemi di produzione. Infine, i sistemi di allevamento sostenibili supportano il benessere e la salute animale che forniscono cibo sicuro e garantiscono ecosistemi sani (Schneider e Tarawali, 2021).

### 1.2.3. CLIMA E USO NATURALE DEL SUOLO

La profonda relazione che intercorre tra clima, uso delle risorse naturali e animali è fondamentale per tutti e tre i pilastri dello sviluppo sostenibile, e si riferisce nello specifico agli OSS 12, 13 e 15. Il settore zootecnico contribuisce in modo diretto ai cambiamenti climatici, essendo responsabile del 14,5% delle emissioni di GHG (*Greenhouse Gas*, gas ad effetto serra) prodotte dall'uomo (Gerber et al., 2013). Come tutti i settori, anche la zootecnia deve affrontare la sfida di migliorare l'efficienza e sviluppare sistemi di mitigazione ai cambiamenti climatici, che possono portare grandi benefici ambientali. Questa tipologia di interventi solitamente include: da un lato, il miglioramento dell'efficienza dell'uso del suolo e delle risorse, che può ridurre contemporaneamente la produzione di gas ad effetto serra per unità di produzione, e dall'altro possono incrementare la sicurezza alimentare (Schneider e Tarawali, 2021).

Un altro dei problemi direttamente collegato al settore agro-zootecnico è lo spreco alimentare. Quasi 1/3 di tutto il cibo prodotto nel mondo viene perso o sprecato tra fattoria e forchetta. Nei sistemi HIC, la maggior parte di queste perdite si verifica a livello di consumatore, mentre, negli LMIC, le perdite si verificano nelle fasi di produzione (Grace et al., 2014), spesso esacerbate dal cattivo stato di salute degli animali. Per combattere questo tipo di sprechi alimentari, saranno fondamentali azioni *multistakeholder*, che coinvolgeranno grandi e piccole industrie e ogni attore della filiera. Il bestiame possiede anche il potenziale per svolgere un ruolo maggiore nella riduzione dei rifiuti, attraverso il suo contributo ad una bioeconomia circolare, ovvero, un'economia basata su prodotti a base biologica,

flussi di rifiuti organici, catene di valore delle risorse efficienti, riciclaggio e il ciclo dei nutrienti (Carus e Dammer, 2018).

Oltre a contribuirvi, il settore zootecnico è anche influenzato dai cambiamenti climatici, che influenzano le prestazioni degli animali, la disponibilità di mangimi, l'accesso all'acqua e la salute e il benessere animale (FAO, 2016), oltre alla biodiversità nei pascoli. La resilienza ai cambiamenti climatici da parte degli animali può essere migliorata attraverso la gestione dell'acqua e del suolo, l'allevamento di animali e colture adattate alla siccità e dotate di resistenza al calore e, soprattutto, capaci di vegetare in ambienti nei quali la coltivazione è difficile o impossibile. In fine, i sistemi zootecnici sostenibili mitigheranno gli impatti ambientali dannosi dello stesso settore sull'ambiente e sul clima e sosterranno risultati di efficienza produttiva e resilienza (Schneider e Tarawali, 2021).

#### 1.2.4. ZOOTECNIA E CRESCITA ECONOMICA

La crescita economica e i mezzi di sussistenza sono connessi ai pilastri dello sviluppo economico e del benessere della società e agli OOS 1, 8 e 12. Si stima che, circa la metà dei poveri del mondo dipendano direttamente dagli allevamenti zootecnici per la propria sussistenza. Ma anche per molte persone che non rientrano nel range della povertà, il bestiame è essenziale per il proprio sostentamento. In molti modi, gli animali d'allevamento rappresentano una risorsa importante, che fornisce capitale e una fonte di reddito, inoltre, se il reddito derivante dalla produzione zootecnica è sufficiente, gli allevatori possono anche utilizzarlo per investire nel settore (Tarawali et al., 2019).

A livello globale, in media, la produzione zootecnica contribuisce al 40% del prodotto interno lordo agricolo (PIL). Nei paesi industrializzati, la produzione di bestiame rappresenta il 53% del PIL agricolo (World Bank, 2020), invece, nei paesi in via di sviluppo, rappresenta un valore compreso tra il 15 e l'85%. In ambito economico, il settore zootecnico è uno di quelli in più rapida ascesa nei paesi in via di sviluppo (FAO, 2018b), e sfruttare questa crescita del mercato zootecnico in espansione, potrebbe aiutare a sostenere la crescita economica complessiva.

Nelle economie LMIC, il settore zootecnico rappresenta un appoggio economico particolarmente importante per le donne, che spesso forniscono gran parte del lavoro per la cura degli animali. Purtroppo, però, l'accesso per le donne all'istruzione, alla formazione, all'informazione e ai mercati è ancora oggi molto disomogeneo, in particolare nei sistemi estesi e ad alta intensità di lavoro (Schneider e Tarawali, 2021). Vi sono, però, anche casi in cui, quando i sistemi ad alta intensità

di lavoro diventano sistemi ad alta intensità di capitale, le attività zootecniche diventano meno inclusive e i ruoli delle donne possono essere ancora più marginali (Galiè et al., 2018). Per aiutare a raggiungere l'uguaglianza di genere nelle popolazioni agricole (OSS 5), le problematiche di genere devono essere considerate parte integrante di ogni soluzione. Inoltre, i sistemi di allevamento sostenibili supportano donne, uomini e giovani in tutto il mondo, che possono beneficiare di opportunità economiche, mitigare i rischi di sostentamento e contribuire all'economia nazionale (Schneider e Tarawali, 2021).

In conclusione, data la complessità e la diversità del settore zootecnico, non esiste un modo univoco per garantire che vengano mitigati potenziali danni futuri, e non esiste un'unica soluzione ai problemi che si stanno presentando oggi. Le soluzioni variano a seconda del sistema di produzione, delle parti interessate e del contesto socioeconomico della regione interessata. Trovare delle soluzioni adatte a ciascuno contesto richiede *partnership* tra settore pubblico, privato, governi, la società civile e le organizzazioni non governative. L'Agenda globale per il bestiame sostenibile vuole affrontare le sfide del ventunesimo secolo offrendo una *partnership* inclusiva, a tutti i livelli, dal locale al globale. Costruendo una visione condivisa basandosi su obiettivi e principi che considerino centralmente le persone e il pianeta (UN, *United Nations*, 2020), riconoscendo contemporaneamente la diversità delle strade che portano al miglioramento della sostenibilità (GASL, 2011). Quindi, una *partnership multistakeholder* può mobilitare e condividere le conoscenze, fornire soluzioni creative e sviluppare strumenti all'avanguardia,

promuovendo un approccio integrato per migliorare le politiche per la produzione di bestiame sostenibile (Schneider e Tarawali, 2021).

### 1.3. SISTEMA ALIMENTARE

#### 1.3.1. SICUREZZA ALIMENTARE

Nonostante i notevoli progressi degli ultimi decenni nelle politiche mirate a combattere la fame nel mondo, dal 2015 quasi 80 milioni di persone sono considerate cronicamente denutrite. Si stima che 161 milioni di bambini sotto i 5 anni vivano di stenti, e allo stesso tempo, 500 milioni di persone soffrano di obesità. La FAO ha stimato che, per soddisfare la domanda alimentare crescente, guidata dalla crescita della popolazione, la produzione di alimenti dovrà aumentare del 60% entro il 2050. Secondo le Nazioni Unite, nel 2015 c'erano ancora 836 milioni di persone nel mondo che vivevano in condizioni di estrema povertà e, secondo il Fondo Internazionale per lo sviluppo agricolo (IFAD: *International Fund for Agricultural Development*), il 70% dei poveri vive prevalentemente in aree rurali, la maggior parte dipende in parte o completamente dall'agricoltura per la propria sussistenza. Si stima anche che 500 milioni di piccole aziende agricole, nei paesi in via di sviluppo, sostengono quasi 2 miliardi di persone, e in Asia e nell'Africa subsahariana, queste aziende producano circa l'80% del cibo consumato (FAO, 2015b).

I cambiamenti climatici stanno minacciando di invertire tutti i progressi compiuti finora nella lotta contro la fame e la malnutrizione. Il gruppo Intergovernativo di esperti sui cambiamenti climatici (IPCC: *Intergovernmental Panel On Climate Change*), ha sottolineato, nel suo rapporto di valutazione, che i cambiamenti climatici aumentano e intensificano i rischi per la sicurezza alimentare, soprattutto per i paesi più vulnerabili. Sono stati identificati, dal gruppo Intergovernativo otto rischi chiave indotti del cambiamento climatico, e quattro di questi hanno dirette conseguenze sulla sicurezza alimentare:

- perdita di mezzi di sussistenza e reddito rurale;
- perdita di ecosistemi marini, costieri e mezzi di sussistenza;
- perdita di ecosistemi terrestri, delle acque interne e mezzi di sussistenza;
- insicurezza alimentare e rottura dei sistemi alimentari.

Le popolazioni nei paesi più vulnerabili sono le più colpite da queste minacce, ma anche le zone aride e semiaride, i paesi senza sbocco sul mare, gli stati in via di sviluppo e le piccole isole. I cambiamenti climatici, inoltre, avranno impatti ancora più ampi attraverso effetti sui flussi commerciali, sui mercati alimentari e sulla stabilità dei prezzi (FAO, 2015b).



### 1.3.2. INTERAZIONI TRA SISTEMA ALIMENTARE E OSS

Una delle grandi sfide che l'umanità dovrà affrontare nel prossimo futuro, è quella di riconfigurare il sistema alimentari per fornire diete sane e accessibili, salvaguardando la salute del pianeta. La produzione di un volume maggiore di cibo e alimenti più sani, prodotti in modi sostenibili, non garantirà il benessere umano se, in contemporanea, altre sfide cruciali dello sviluppo sostenibile non verranno affrontate, come: la riduzione della povertà, inclusione sociale, equità, istruzione e assistenza sanitaria, conservazione della biodiversità, sviluppo di energie sostenibili, sicurezza idrica e mitigazione dei cambiamenti climatici. Queste sono tutte le sfide interconnesse incorporate nell'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile, adottata da tutti gli Stati membri delle Nazioni Unite (Campbell et al., 2018). Esiste una profonda interdipendenza tra i 17 obiettivi degli OSS. Questa profonda sinergia evidenzia gli sforzi che devono essere fatti per raggiungere la sostenibilità dei sistemi alimentari, obiettivo compreso in tutti gli OSS (Pradhan et al., 2017; Obersteiner et al., 2016).

La creazione di un sistema agricolo sostenibile è di vitale importanza perché, nel prossimo futuro, l'agricoltura e la zootecnia dovranno nutrire un popolo sempre più numeroso (si stima che sarà prossima ai 9,7 miliardi nel 2050), e allo stesso tempo, ridurre le pressioni che esercitano sugli ecosistemi terrestri.

Cosa accadrebbe se non modificassimo il nostro operato?

Se il mondo continuasse a comportarsi come sta facendo ora si assisterebbe ad un incremento dell'insicurezza alimentare, specialmente in alcune parti del mondo, come l'Africa subsahariana e l'Asia meridionale, che sono i due

epicentri della denutrizione. Assisteremo ad un maggior incremento della siccità, specialmente in Nordafrica e Medio Oriente, zone che già oggi presentano difficoltà nelle produzioni agricole. Potrebbero risentirne anche l'est e il sud-est Asiatico, essendo già oggi regioni sottoposte a enormi carenze idriche; per questi distretti ambientali le temperature elevate potrebbero aggravare questa situazione e avere ripercussioni negative sulle produzioni animali e agricole. Alcune zone del mondo riusciranno a sottrarsi ad alcune di queste minacce, ma nessuna riuscirà a sottrarsi da tutte, essendo alcune di queste regioni caratterizzate da un livello di povertà estremo; per altro, in relazione a quelle popolazioni che vivono in situazioni ambientali fragili, come ai Tropici o nelle aree molto aride, la situazione si rivelerà addirittura insostenibile. Ma con i cambiamenti climatici quello che oggi è un ambiente difficile può diventare invivibile (Sachs, 2015).

La prima azione che si potrebbe mettere in atto è quella di migliorare la capacità di coltivazione. Abbiamo quindi bisogno di una nuova "rivoluzione verde" che porti alla coltivazione di nuove varietà adattate alle sfide ambientali che devono sostenere. Queste varietà potranno adattarsi al clima arido, dato che probabilmente i periodi di siccità diventeranno sempre più frequenti, oltre all'estrema variazione di temperatura stagionale oltre che ai fenomeni ambientali estremi tecnicamente identificati come *Extreme Weather Events* (Sachs, 2015).

La seconda azione che si potrebbe intraprendere è rendere alcune coltivazioni più nutrienti, fornendo così un'alimentazione più sana e una dieta equilibrata a base di frutta, verdura, vegetali integrali e oli vegetali. Si potrebbe anche ovviare a certe carenze alimentari rendendo più nutrienti alcuni alimenti di

base, come ad esempio il riso. A questo proposito, *l'International Rice Research Institute* (IRRI), nelle Filippine, ha sviluppato il cosiddetto “*Golden Rice*”, o riso dorato, che ha contribuito al lancio di una nuova rivoluzione verde per il riso. Gli scienziati hanno modificato il genoma del riso arricchendolo di beta carotene, un precursore della provitamina A, in modo che le popolazioni, e soprattutto i bambini, che si nutrono di questo riso ricavano la vitamina di cui hanno bisogno, combattendo così una delle principali tipologie di fame nascosta imputabile a bassi livelli di micronutrienti (Sachs, 2015).

La terza strategia da adottare potrebbe essere quella dell'agricoltura di precisione, metodologia già estremamente diffusa nei paesi a più alto reddito. Il suo punto di forza è quello di mirare a ridurre il consumo di acqua, azoto e altri fattori, in modo tale che un quantitativo maggiore di cibo prodotto possa corrispondere a un minore impatto ambientale. Per esempio, l'agricoltura di precisione ha sviluppato sistemi di distribuzione più accurata dei fertilizzanti, per ridurre volatilizzazione e sprechi con un impatto diretto sulla riduzione dell'inquinamento e contestualmente riducendone l'assorbimento nelle piante. Questo tipo di tecnologia agricola sta diventando sempre più comune nei paesi a medio e basso reddito, grazie ai costi decrescenti e alla facilità di utilizzo riducendo al tempo stesso anche l'impatto ambientale (Sachs, 2015).

Un'altra direzione da intraprendere è quella che riguarda la gestione idrica, al fine di ridurre i quantitativi di acqua utilizzata e ottenere di più da ogni singola goccia. Anche una migliore gestione delle fasi di raccolta, stoccaggio e trasporto

degli alimenti è un obiettivo da raggiungere, per evitare gli sprechi che hanno luogo nel percorso che fanno le materie prime dal campo alla tavola (Sachs, 2015).

Infine, la soluzione alla base di tutte queste opzioni è un cambiamento globale verso uno sviluppo sostenibile, che comporta una modifica dei comportamenti, una coscienza pubblica e una responsabilità individuale, lo sviluppo di nuovi sistemi e tecnologie per ridurre drasticamente le pressioni sull'ambiente e contribuire a rendere più elastica la nostra vita nei confronti dei cambiamenti ambientali già in atto. La sicurezza alimentare e l'agricoltura sostenibile continuano a presentare un problema enorme, ma risolvibile. Per questa ragione, un approccio alimentare sostenibile e la lotta alla fame devono avere un ruolo di primo piano negli obiettivi da raggiungere per ogni singolo stato del mondo (Sachs, 2015).

### 1.3.3. IMPATTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SULLA SICUREZZA ALIMENTARE

I cambiamenti climatici stanno influenzando profondamente le condizioni in cui vengono condotte le pratiche agro-zootecniche. Nello specifico, in ogni regione del mondo, piante, animali ed ecosistemi si sono adattati alle condizioni climatiche prevalenti. Quando queste condizioni però cambiano, anche leggermente, o in una direzione che potrebbe sembrare più favorevole, gli animali e le piante saranno colpiti, alcuni diventeranno meno produttivi o addirittura potrebbero scomparire. Alcuni di questi impatti possono essere previsti, come l'impatto di un'ondata di calore su una pianta specifica in un momento specifico della sua crescita. Altri, invece, sono più difficili da prevedere, come l'effetto del

cambiamento climatico su interi ecosistemi, perché ogni elemento reagirà e interagirà in modo diverso, ad esempio: alcune piante coltivate in condizioni controllate, reagiscono in modo favorevole a un aumento di CO<sub>2</sub> atmosferica, ma allo stesso tempo, anche molte malerbe possono reagire favorevolmente. Il risultato, quindi, può essere un aumento o una diminuzione della resa della pianta coltivata a seconda della competizione per i nutrienti e acqua tra di essa e le piante infestanti (FAO, 2015b).

È anche probabile che parassiti e malattie si spostino, a seguito dei cambiamenti climatici, arrivando in aree non abituate alla loro presenza, sia biologicamente che istituzionalmente, con impatti negativi potenzialmente più elevati. I rischi per la produzione agricola si traducono direttamente in rischi per la sicurezza alimentare delle persone che dipendono direttamente dall'agricoltura per il loro sostentamento. Come viene mostrato in Figura 5, esiste una cascata di rischi che nascono dai cambiamenti climatici e arrivano fino agli agroecosistemi, alla produzione agricola, all'economia, al sociale e infine alla sicurezza alimentare e alla nutrizione (FAO, 2015b).

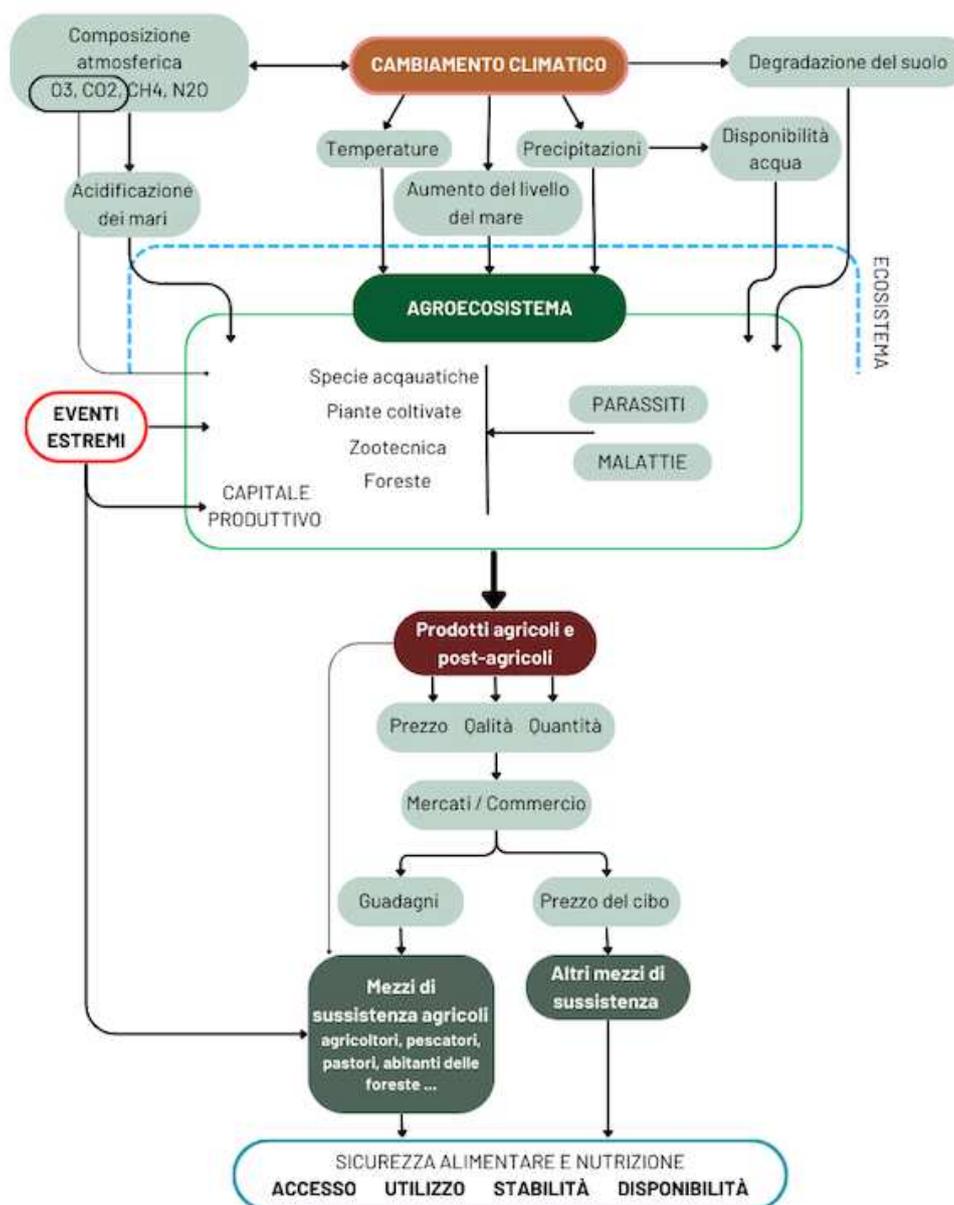


Figura 5. Rappresentazione schematica degli effetti a cascata degli impatti dei cambiamenti climatici sulla sicurezza alimentare e sulla nutrizione (FAO, 2015b).

#### 1.3.4. VULNERABILITÀ DELLA SICUREZZA ALIMENTARE AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

I cambiamenti climatici hanno un impatto diretto sugli agroecosistemi, che a loro volta possono generare potenziali impatti sulla produzione agricola, che guida gli impatti economici e sociali, che a loro volta incidono sui mezzi di sussistenza e sulla sicurezza alimentare. In altre parole, l'impatto ambientale si coinvolge in sequenza clima, all'ambiente, alla sfera produttiva e alla sfera economica e sociale. In ognuna di queste fasi la forza dell'impatto che le coinvolge è determinata dallo *shock* (climatico o di altra natura) stesso e dalla vulnerabilità nella singola fase, un livello di stress applicato al sistema. La trasmissione dello stress può essere amplificata o ridotta, a seconda del livello di vulnerabilità di ciascun livello del sistema. La stessa vulnerabilità può aumentare nel tempo se i sistemi, come le famiglie che basano la propria sussistenza sull'agricoltura, affrontano *shock* ripetuti che vanno a influire sulle loro attività. Questi meccanismi di trasmissione e il ruolo svolto dalle varie vulnerabilità a ciascun livello, sono ciò che determina l'impatto finale sulla sicurezza alimentare e sulla nutrizione (FAO, 2015b).

È stato rilevato dall'IPCC (IPCC, 2014), nel suo rapporto di sintesi, che l'esposizione e la vulnerabilità sono influenzate da una vasta gamma di fattori, processi sociali ed economici. Il rapporto rivela, inoltre, che i pericoli legati al clima aggravano i fattori di stress, con risultati negativi per il mezzo di sussistenza, in particolare, per le popolazioni che vivono in condizioni di povertà. Studiare la vulnerabilità della sicurezza alimentare nei confronti dei cambiamenti climatici è la chiave per comprendere gli impatti climatici netti sulla sicurezza alimentare stessa,

ma anche per studiare i modi per adattarsi, come in caso di eventi climatici estremi, che significa ridurre l'impatto dei cambiamenti climatici riducendo quindi la vulnerabilità (IPCC, 2014).

I rischi a cui sono soggetti i sistemi alimentari, da cui dipende la sicurezza alimentare, sono di varia natura, e possono avere un impatto diretto sulle quattro dimensioni della sicurezza alimentare e della nutrizione: produzione agricola (disponibilità), accesso agli alimenti (reddito sufficiente), utilizzo (nutrizione e qualità) e stabilità. Essi includono i rischi climatici e, come citato in precedenza, molti altri rischi che sono, a loro volta, influenzati dai cambiamenti climatici o che possono combinarsi con i rischi indotti dai cambiamenti climatici e avere effetti cumulativi o amplificati (FAO, 2015b).

L'impatto stesso di uno *shock* climatico sulla sicurezza alimentare non dipende solo dall'intensità dello *shock*, ma anche dalla vulnerabilità del sistema alimentare, e dai suoi sottocomponenti e le loro relazioni, ovvero, la predisposizione o la propensione del sistema ad essere influenzato negativamente (IPCC, 2012).

La vulnerabilità della sicurezza alimentare ai cambiamenti climatici comprende le dimensioni ambientale (produttività), economica e sociale. In tabella 1 sono rappresentate le principali vulnerabilità legate alla sicurezza alimentare, come menzionato nell'IPCC (2014), che cita anche la vulnerabilità istituzionale, indicandola come punto chiave della governance per condizionare le vulnerabilità. Ognuna delle vulnerabilità descritte in Tabella 1 aumenterà direttamente gli impatti negativi e potrebbe aumentare le loro conseguenze. In un determinato sistema, gli *shock* avvenuti in una dimensione possono diffondersi in un'altra, ad esempio gli



*shock* delle produzioni vengono trasmessi in ambito economico e sociale, e lo stesso vale per la vulnerabilità (FAO, 2015b).

<b>AMBIENTE</b>	<p>Sistemi polari</p> <p>Alta esposizione all'innalzamento del livello del mare e alle inondazioni costiere, tra cui mareggiate, attività economica e infrastrutture nelle zone costiere basse, piccoli stati isolani in via di sviluppo (SIDS) e altre piccole isole.</p> <p>Aree montane (frana, erosione, perturbazione del ciclo dell'acqua, spostamento degli ecosistemi).</p> <p>Comunità di pescatori costiere e SIDS a seconda dei servizi ecosistemici.</p> <p>Barriere coralline di acqua calda e rispettivi servizi ecosistemici per le comunità costiere.</p> <p>Aree già degradate (degrado del suolo, siccità, non recupero da eventi estremi).</p> <p>Aree soggette a scarsità d'acqua e forniture irregolari o vincoli all'aumento delle forniture.</p> <p>Agricoltori scarsamente dotati di acqua nelle terre aride o pastori con accesso insufficiente all'acqua potabile e all'irrigazione.</p> <p>Aree che hanno subito una riduzione dei pool genetici.</p> <p>Popolazioni e infrastrutture esposte a nuovi pericoli e prive di esperienza storica con questi pericoli.</p> <p>Sistemi basati sulla monocoltura (parassiti e malattie, siccità).</p>
<b>ECONOMIA</b>	<p>Popolazioni con capacità limitata di compensare le perdite nei sistemi di pioggia e nei sistemi pastorali.</p> <p>Popolazioni inclini al conflitto sulle risorse naturali.</p> <p>Società sensibili alla perdita di approvvigionamento, regolamentazione e servizi culturali dagli ecosistemi terrestri.</p> <p>Popolazioni denutrite e malnutrite.</p> <p>Popolazioni più povere in contesti urbani e rurali; comprende in particolare gli agricoltori che sono acquirenti netti di alimenti e le persone in economie a basso reddito e dipendenti dall'agricoltura che sono importatori netti di alimenti.</p>
<b>SOCIALE</b>	<p>Popolazione rurale marginalizzata con povertà multidimensionale e mezzi di sussistenza alternativi limitati.</p> <p>Capacità limitata di far fronte e adattarsi a causa dell'emarginazione, dell'alta povertà e dei ruoli di genere imposti culturalmente.</p> <p>Capacità limitata di far fronte alle famiglie anziane e senza capofamiglia</p> <p>Paesi in prolungata crisi di sicurezza alimentare.</p>
<b>ISTITUZIONALE</b>	<p>Aree con servizi idrici e infrastrutture inadeguati.</p> <p>Mancanza di capacità e resilienza nei regimi di gestione delle risorse idriche.</p> <p>Politica fondiaria inappropriata (compresa la mancanza di sistemi di possesso).</p> <p>Inosservanza e indebolimento dei mezzi di sussistenza pastorali.</p> <p>Insufficiente attenzione da parte del governo locale alla riduzione del rischio di catastrofi.</p> <p>Pianificazione della gestione e progettazione dell'infrastruttura specifiche per il rischio e / o bassa capacità di previsione.</p>

Tabella 1. Alcune vulnerabilità chiave relative alla sicurezza alimentare.

(FAO, 2015b).

Ovviamente, le caratteristiche di un sistema lo rendono più o meno vulnerabile a una serie di rischi, per esempio: un'azienda agricola che si affida a una singola cultura è particolarmente vulnerabile a uno *shock* (un parassita o un abbassamento dei prezzi), al contrario, un sistema molto diversificato risulta meno vulnerabile. Le aziende agricole che si affidano completamente all'acqua piovana per l'agricoltura sono più vulnerabili dal punto di vista economico e anche nei confronti della possibile siccità, rispetto alle aziende agricole che hanno altre fonti di reddito, oppure che hanno la possibilità di usufruire di acqua per l'irrigazione dei campi. Questi parallelismi si esprimono meglio quando si considera che la maggior parte delle persone povere nel mondo sono dipendenti direttamente o indirettamente dalle produzioni agricole, e dal reddito derivante da essi per i loro mezzi di sussistenza, e sono quindi direttamente esposti a qualsiasi rischio che possa avere un impatto sulla produzione agricola (FAO, 2015b).

In alcuni casi, ci possono anche essere effetti di amplificazione di *shock* e rischi, ad esempio: una prolungata siccità può aumentare la vulnerabilità di una successiva siccità. Oppure, riducendo le attività svolte dalle famiglie impegnate nell'agricoltura, anche la loro vulnerabilità a qualsiasi tipo di *shock* verrà amplificata. Come anche, la riduzione dell'attività della forza del bestiame, causata da malnutrizione o cattiva gestione, può aumentare la loro suscettibilità alle malattie. Dunque, passando da una dimensione all'altra, da un livello all'altro, da una vulnerabilità o da una scala temporale all'altra, le vulnerabilità possono sommarsi e/o amplificarsi a vicenda. Come accade per la vulnerabilità dell'insicurezza alimentare, la vulnerabilità dovuta a situazioni di mancanza di istruzione e strutture

sanitarie, che portano a impedimenti economici, può produrre effetti a lungo termine (Hoddinott, 2006).

Questo complesso sistema di interazione ha importanti conseguenze in termini di strategie per la mitigazione della vulnerabilità. In primo luogo, la riduzione della vulnerabilità ad uno specifico tipo di *shock* può aiutare a ridurre la vulnerabilità a un altro tipo di *shock*. In secondo luogo, la vulnerabilità di uno specifico sistema può essere ridotta trovando dei modi per limitare la trasmissione interna degli *shock*. Un esempio classico è la mitigazione delle malattie e dei parassiti delle piante con un'azione preventiva per evitarne la diffusione. In terzo luogo, le strategie messe in atto e che coinvolgono dimensioni, livelli e scale temporali diverse, possono anche essere mobilitate per compensare le vulnerabilità di un'altra particolare dimensione, livello o scala temporale. Ad esempio, nel caso di uno *shock* climatico, il quale riduce la resa produttiva in un'area, può essere compensato dal commercio, solo a condizione che il commercio non sia a sua volta impedito, e purché le famiglie abbiano i mezzi per acquistare beni (FAO, 2015b).

### 1.3.5. IMPATTI SULLA SICUREZZA ALIMENTARE E SULLA NUTRIZIONE

Durante il Vertice Mondiale sull'alimentazione (*World Food Summit*), tenutosi nel 1996, è stato dichiarato: “la sicurezza alimentare esiste quando tutte le persone, in ogni momento, hanno accesso fisico ed economico a sufficienti alimenti, sicuri e nutrienti, che soddisfano le loro esigenze dietetiche e le preferenze alimentari per una vita attiva e sana” (World Food Summit, 1996). Questa definizione ha dato origine a quattro dimensioni della sicurezza alimentare: disponibilità di cibo, accessibilità (economica e fisica), utilizzo e stabilità di queste tre dimensioni (FAO, 2015b).

Disponibilità: la disponibilità di una quantità sufficiente di alimenti, forniti attraverso la produzione nazionale o le importazioni da altri Stati, compreso l'aiuto alimentare.

Accesso: l'accesso a risorse adeguate all'acquisto di alimenti adeguati a una dieta nutriente. I diritti comprendono l'insieme di tutti i beni su cui una persona può agire dal punto di vista legale, politico, economico e sociale della comunità in cui vive.

Utilizzo: utilizzo di alimenti, acqua pulita, servizi igienico-sanitari e l'assistenza sanitaria per il raggiungimento di uno stato di benessere nutrizionale in cui vengano soddisfatte tutte le esigenze fisiologiche.

Stabilità: una popolazione, una famiglia o un individuo dovrebbero avere accesso ad una quantità di cibo adeguato in ogni momento, non dovrebbero rischiare di perdere l'accesso all'alimento a causa di *shock* improvvisi, come una crisi

economica o climatica, o eventi ciclici (insicurezza alimentare stagionale). Questo concetto si riferisce alle prime tre dimensioni di disponibilità, accesso e utilizzo della sicurezza alimentare (FAO, 2015b).

Il cambiamento climatico sta avendo un impatto sempre più forte sulla sicurezza alimentare e sulla nutrizione. Attraverso l'influenza negativa sugli agro-ecosistemi, agisce sulla produzione agricola, sulle persone e sui paesi che dipendono da essa e, anche, sui consumatori attraverso una maggiore instabilità dei prezzi. Gli impatti dei cambiamenti climatici sulla sicurezza alimentare e sulla nutrizione sono i risultati dei cambiamenti climatici stessi e delle vulnerabilità dei sistemi alimentari. Possono essere quindi descritti come “impatti a cascata” sul clima, l'ecosistema, la società, le famiglie e la sicurezza alimentare stessa. Le più colpite sono le popolazioni più vulnerabili, con mezzi di sussistenza vulnerabili ai cambiamenti climatici e che, solitamente, vivono nelle aree più suscettibili ai cambiamenti climatici. Il principale impatto sulla sicurezza alimentare e sulla nutrizione, si manifesta attraverso una riduzione dell'accesso e della stabilità per questi soggetti vulnerabili. La riduzione della vulnerabilità è quindi la chiave per ridurre gli impatti finali sulla sicurezza alimentare e nutrizionale e per ridurre gli effetti a lungo termine (FAO, 2015b).

## 2.       CONTRIBUTO DELLA ZOOTECNICA AL CAMBIAMENTO CLIMATICO

### 2.1.    PRODUZIONI ANIMALI E BIOCAPACITÀ DEL PIANETA

Le produzioni animali rappresentano da sempre la base culturale di molti popoli. Rappresentano una fonte di alimento di elevato valore nutrizionale ed energetico presente nella dieta di tutta la popolazione mondiale. Con la rivoluzione industriale le attività zootecniche si sono sempre più connesse all'economia e allo sviluppo sociale e culturale dei diversi popoli del mondo, contribuendo alla gestione dell'ambiente e al benessere dell'uomo e degli animali a livello globale e locale (Luiselli et al., 2016; Pulina et al., 2016, 2017).

In futuro, il ruolo delle produzioni animali diventerà sempre più importante a motivo dell'incessante crescita della domanda mondiale di cibo, specialmente di origine animale, in un pianeta dove però le risorse naturali ed animali sono ovviamente limitate. Per questa ragione, sarà possibile garantire la “*food safety and security*”, la salubrità e la sicurezza alimentare, per la popolazione mondiale solo se si applicheranno sistemi produttivi in ambito vegetale e animale innovativi e ad elevata sostenibilità ambientale, sociale ed economica (Fao, 1996, 2015; Pretty, 2008).

La sostenibilità dei sistemi produttivi, soprattutto quelli agroalimentari, è una sfida cruciale che coinvolge tutto il mondo: la FAO, e altri organismi internazionali, sono infatti impegnati nello sviluppo scientifico e tecnico per rendere possibile produrre di più utilizzando meno risorse e rispettando gli agro ecosistemi. Nel prossimo futuro l'aumento della domanda globale di prodotti animali dovrà

confrontarsi con l'importantissima questione della sostenibilità, intesa come la riduzione del depauperamento e dell'utilizzo delle risorse naturali non rinnovabili e l'inquinamento di vaste aree del pianeta (Stefanon et al., 2018).

Secondo il *Global Footprint Network* (2016), attualmente l'umanità sta utilizzando l'equivalente di 1,6 pianeti, sia per ricavare risorse, che per smaltire i rifiuti prodotti; secondo questo andamento, la terra ha bisogno di un anno e mezzo per riuscire a rigenerare quello che viene consumato e scaricato nell'ambiente nell'arco di un anno. A causa di questa velocità di sfruttamento delle risorse rispetto alla biocapacità del pianeta, si andrà verso un'insostenibilità delle condizioni ambientali con prospettive future non favorevoli.

Volendo fare un quadro delle potenzialità produttive dell'agricoltura e della zootecnia a livello globale, ci si può concentrare sulla primaria risorsa globale: il suolo. Della superficie totale il 10% è utilizzato per l'agricoltura e circa un quarto è destinata al pascolamento; la restante parte, circa il 63%, è compresa di deserti, foreste, acque interne e ghiacciai, taiga e superfici improduttive (Bruinsma, 2003). Soltanto una piccola percentuale delle zone pascolanti e forestali può essere convenientemente convertita alla coltivazione, per cui la richiesta dell'aumento delle produzioni dei beni alimentari dovrà forzatamente far conto sull'incremento delle rese unitarie delle colture.

Una questione differente riguarda il caso degli allevamenti zootecnici che coinvolgono i ruminanti, che già ora occupano in gran parte aree extra marginali alle coltivazioni: l'aumento della loro produttività sarà condizionata dal miglioramento delle tecniche di utilizzazione dei foraggi e dalla riduzione degli indici di conversione

alimentare (la quantità di mangime, espressa in chilogrammi, necessaria per l'accrescimento di un chilogrammo di peso vivo dell'animale) (Stefanon et al., 2018).

In definitiva, per riuscire a supportare la biocapacità del pianeta, che ad oggi è molto vicina al punto di saturazione, necessitiamo di una profonda rivisitazione delle modalità di produzione, soprattutto nelle aree nelle quali maggiore sarà l'aumento di domanda di prodotti zootecnici, i paesi in via di sviluppo, per i quali gli indici di conversione alimentare sono molto lontani da quelli ottenuti con l'applicazione delle tecnologie immediatamente adattabili in quelle realtà produttive. Come spiega bene Keating, il raddoppio della produzione di latte di vacca e di capra nei paesi in via di sviluppo potrebbe essere sufficiente a soddisfare la crescente domanda di questo alimento al 2050 (Keating et al, 2014).

Un altro punto non indifferente, oltre alla crescente domanda di cibo e la riduzione delle risorse naturali, è la nascita di consapevolezza e di preoccupazione di diversi soggetti (*stakeholders*) verso i temi etici legati all'allevamento, quali il benessere animale, la qualità degli alimenti, l'impatto delle attività zootecniche sull'ambiente e del cambiamento climatico. Più in particolare, gli spettatori della filiera vogliono essere a conoscenza sia dell'impronta animale, cioè l'impronta ecologica legata alle attività tecniche, sia alle risposte degli animali al cambiamento climatico (Stefanon et al., 2018). Come descritto da Pulina, l'impronta animale (*animal footprint*) riguarda l'impatto ecologico delle produzioni zootecniche misurabile in termini di *greenhouse gases* emessi (GHG, gas climalteranti o gas ad effetto serra), terreno eroso, acqua consumata e biodiversità compromessa per unità di prodotto di origine animale (Pulina et al., 2011). L'impatto ambientale delle



produzioni animali può essere valutato con diversi sistemi, e uno dei più utilizzati è lo studio del ciclo di vita, denominato *Life cycle assessment* (LCA). Questa analisi considera l'impatto potenziale sull'ambiente lungo il ciclo di vita di un prodotto, partendo dall'assunzione delle materie prime, proseguendo lungo i processi di produzione e di utilizzo finendo con lo smaltimento a fine vita del prodotto (Stefanon et al., 2018).

#### 2.1.1. IL CONSUMO DI PRODOTTI DI ORIGINE ANIMALE NEL MONDO

Almeno due miliardi di persone sul pianeta, una frazione consistente della popolazione mondiale, pratica una dieta basata su alimenti di origine animale, mentre la maggioranza della popolazione mondiale si nutre prevalentemente di prodotti di origine vegetale (Pimentel, 2008). Di quei due miliardi, almeno 400 milioni di persone assumono metà della quota proteica giornaliera da prodotti della pesca, queste persone sono prevalentemente abitanti dei paesi più poveri.

In totale nel mondo vengono allevati 22 miliardi di animali da allevamento per l'alimentazione umana, di cui 17 miliardi sono pollame, 1,5 miliardi bovini e più di 900 milioni sono suini. Il consumo di carne è passato da 45 milioni di tonnellate all'anno durante il 1950, a 233 milioni di tonnellate all'anno nel 2000. Su queste basi, la FAO ha stimato che: entro il 2050 si arriverà probabilmente a 465 milioni di tonnellate, cioè 10 volte di più rispetto a 100 anni fa. Seguendo questa dinamica, anche la produzione di latte è destinata a crescere, passando da 580 milioni di

tonnellate tra il 1999 e il 2001, a 1043 milioni di tonnellate entro il 2050 (Zicari, 2015).

Il consumo di prodotto di origine animale cresce parallelamente alla crescita economica, con particolare rapidità nei paesi in via di sviluppo. Dal 1983, in questi paesi, il consumo di carne è più che raddoppiato, passando da 14 Kg di carne pro capite annui a 30 Kg in circa vent'anni. Il consumo di latte nei paesi in via di sviluppo è anch'esso aumentato notevolmente, passando in soli 10 anni, 1983-1993, da 35 Kg pro capite a 40 Kg pro capite, e si stima una crescita fino a 62 Kg pro capite entro il 2020 (Zicari, 2015).

L'aumento, negli anni futuri, del consumo di prodotti di origine animale lascia prevedere un incremento dei problemi, che scateneranno una cascata di criticità che si rifletteranno negativamente sull'ambiente. Uno di questi è rappresentato dalla produzione di alimenti per gli animali d'allevamento. Sono necessari circa 7 kg di grano per produrre 1 kg di carne rossa, e due per produrre 1 kg di pollo (Randers, 2013). Modificando la dieta proteica della maggior parte delle persone nel mondo, si può ottenere una riduzione dell'impiego di energia e di superfici coltivate a mangimi. La riduzione del consumo di carne, anche di pochi grammi al giorno, o l'adozione, da parte di un più ampio spettro di popolazione di una dieta più vegetale, potrebbe comportare molti vantaggi ambientali, se consideriamo che, secondo le attuali previsioni, le produzioni animali aumenteranno fino a raddoppiare nel 2050. Di conseguenza, aumenterà la percentuale di popolazione povera e malnutrita nel mondo, e anche la frazione di popolazione che soffre di un'alimentazione eccessiva (Zicari, 2015). Infatti, alcuni

dei principali impatti generati dall'allevamento sono: il consumo di energia, di suolo e di acqua, la riduzione della fertilità dei suoli, la deforestazione, l'inquinamento e la produzione di gas climalteranti, lo sviluppo di antibiotico resistenza e la diffusione di epidemie (Worldwatch Institute, 2009). Diversi studi dimostrano come la riduzione del consumo di carne debba diventare una necessità per contrastare i gravi effetti negativi sull'ambiente derivanti dalla produzione zootecnica. Una ricerca pubblicata da MacMichael nel 2007 ha studiato la correlazione tra cibo, allevamento, energia, cambiamenti climatici e salute. I ricercatori hanno stimato un consumo di carne pari a 100 grammi al giorno per persona, con la quota più alta nei paesi sviluppati (224 grammi pro capite al giorno). La soluzione che i ricercatori propongono è la riduzione del consumo di carne a 90 grammi al giorno pro capite, che comporterebbe una riduzione del 60% dei consumi di carne nei paesi sviluppati, ed eviterebbe contemporaneamente che in paesi in via di sviluppo, nei quali il consumo di carne va costantemente crescendo, non superino tale soglia (McMichael et al., 2007).

### 2.1.2. ALLEVAMENTI E USO DELLE TERRE

Molto probabilmente il settore dell'allevamento rappresenta, a livello mondiale, la maggiore fonte d'uso antropico del suolo: la moderna zootecnia utilizza complessivamente il 30% della superficie terrestre non ricoperta dai ghiacci e il 70% di tutte le terre agricole. Per quanto riguarda le terre arabili del pianeta, il 33% viene impiegato per produrre mangimi (FAO, 2006) e in Europa, il 75% del suolo agricolo è coltivato per produrre mangimi ([www.greenpace.com](http://www.greenpace.com)).

Dei totali 13 miliardi di ettari biologicamente produttivi disponibili sulla terra, l'11% è sfruttato per le coltivazioni, il 32% è occupato da pascoli e il 9% è urbanizzato (Rifkin, 2001). Dei 13 miliardi di ettari biologicamente produttivi, solo il 21% non può essere occupato da coltivazioni in quanto suolo non fertile o perché il clima è troppo freddo (Pimentel, 2008).

Si può quindi percepire come un'enorme estensione della superficie terrestre sia dedicata ai pascoli. Ma, molto spesso, la produttività di questi prati è variabile: un ettaro di area verde ben tenuta e molto ricca può sostenere un manzo per un anno, ma se si tratta di una zona per così dire marginale, ne possono essere necessari anche 20 ettari; infatti, il 20% dei pascoli sono degradati per via dell'eccessivo sfruttamento (Zicari, 2015).

Un ettaro coltivato con vegetali come carote, patate o grano può soddisfare l'alimentazione di 20 persone, mentre, se lo stesso ettaro è utilizzato per la produzione di carne suina, può sfamare tre persone, e se utilizzato per la produzione di carne bovina ne può sfamare solo due (Ciccarese, 2012). Viceversa,

per produrre 50 Kg di proteine animali è necessario consumare quasi 800 Kg di vegetali, ma se un ettaro di terreno viene coltivato, per esempio, con spinaci, fornisce una quantità di proteine superiore a 25 volte rispetto allo stesso ettaro coltivato con cereali per fornire mangime per ottenere carne. Si può quindi affermare che gli allevamenti sono in diretta competizione per il consumo del suolo per la fornitura di alimenti con una grande fetta della popolazione mondiale, e che più del 70% delle spese necessarie per l'alimentazione degli animali zootecnici sono generate dalla produzione dei mangimi a loro destinati (Richards et al., 2007).

Il degrado e lo sfruttamento del suolo sono riconosciuti come problemi globali che hanno dirette implicazioni sull'attività agronomica e l'ambiente, nonché effetti sulla sicurezza alimentare e sulla qualità stessa della vita (Eswaran Lal e Reich, 2001).

La definizione utilizzata dal programma delle Nazioni Unite per l'ambiente (UNEP: *United Nations Environment Programme*) riguardo il degrado del suolo è: “il degrado del suolo implica una riduzione del potenziale delle risorse da parte di uno o una combinazione di processi che agiscono sul terreno, come: erosione del suolo da parte del vento e/o dell'acqua, deterioramento delle proprietà fisiche, chimiche e biologiche o economiche del suolo e perdita a lungo termine della vegetazione naturale” (UNEP, 2002).

Il degrado del suolo agricolo è un fatto particolarmente preoccupante per diversi motivi, in quanto: riduce la produttività del suolo che a sua volta porta a un'ulteriore espansione dei terreni agricoli in habitat naturali incontaminati. Questa espansione richiede risorse naturali aggiuntive per rendere la terra utilizzabile e

questo può generare un forte inquinamento con impatti anche in sedi differenti (Gretton e Salma, 1996). L'intensificazione dell'utilizzo del suolo ha sia aspetti positivi come pure effetti negativi. L'aumento dei raccolti nei sistemi agro culturali concorre a ridurre la pressione per convertire gli ecosistemi naturali interni coltivati e può consentire la riconversione dei terreni agricoli in aree naturali. Tuttavia, l'aumento dell'utilizzo di fertilizzanti, biocidi e consumo energetico hanno aumentato la pressione sull'ecosistema e sulle acque interne, hanno ridotto la biodiversità delle zone agricole e ha generato maggiori emissioni gassose causate da input di energia e fertilizzanti minerali (FAO, 2006).

Le implicazioni ambientali relative al degrado del suolo sono molteplici. Tra le problematiche più critiche vi sono: la perdita della biodiversità attraverso la distruzione dell'habitat oppure l'inquinamento delle falde acquifere, i cambiamenti climatici attraverso la deforestazione e la perdita di materia organica del suolo che rilascia un'enorme quantità di carbonio nell'atmosfera, l'esaurimento delle risorse idriche attraverso l'alterazione strutturale del suolo con la rimozione della copertura vegetale che influenzano i cicli dell'acqua (FAO, 2006).

## 2.2. I CAMBIAMENTI CLIMATICI

Il contributo delle emissioni di gas ad effetto serra sui cambiamenti climatici è un fenomeno globale anche se gli impatti del riscaldamento globale non sono distribuiti uniformemente in tutto il mondo (Parmesan e Yohe, 2003; Deutsch e Tewksbury, 2008). Le opere di mitigazione dei cambiamenti climatici possono portare parecchi benefici ambientali, compresi alcuni interventi tecnici che potenzialmente possono ridurre l'impatto dell'allevamento zootecnico sulle emissioni globali (Motetet et al., 2016; Arango et al., 2020).

Questi interventi possono includere: il miglioramento dell'efficienza del suolo, lo sfruttamento più consapevole delle risorse che riducono contemporaneamente le emissioni di gas ad effetto serra per unità di produzione e inducono un miglioramento del benessere animale. Questo tipo di interventi possono fornire anche un contributo alla sicurezza alimentare. Un altro intervento che si può mettere in atto è la gestione della salute degli animali, compreso il benessere animale che è uno dei modi chiave per migliorare l'efficienza della produzione animale in quanto, animali più sani emettono meno gas ad effetto serra (Skuce et al., 2016). Il miglioramento del benessere e la tutela della salute animale avranno un maggiore impatto in aree geografiche nelle quali la produttività zootecnica è attualmente bassa, come, ad esempio, nelle piccole e medie aziende agricole dell'Asia e dell'Africa. Qui, ovviamente, l'implementazione tecnologica richiede un trasferimento di conoscenza, di incentivi economici e un quadro normativo favorevole, inoltre, l'implementazione richiede soluzioni specifiche per il contesto che integrano, per fondere le conoscenze e le pratiche tradizionali che si

basano su sistemi di produzione e di bestiame locale, con pratiche moderne e più efficienti (Schneider e Tarawali, 2021).

### 2.2.1. L'EFFETTO SERRA

Il nostro pianeta sta attraversando una fase di riscaldamento globale e mutamenti climatici anormali che non hanno precedenti per rapidità ed intensità. Come viene spiegato nel rapporto *dell'Intergovernmental Panel on Climate Change* (Ipcc, 2013), il riscaldamento globale è un fenomeno inequivocabile, a partire dagli anni 50 del Novecento, molti dei fenomeni che sono avvenuti non si erano mai verificati in precedenza.

Con l'inizio della rivoluzione industriale, l'uomo ha iniziato a bruciare carbone e combustibili fossili per generare energia per fabbriche, stabilimenti siderurgici e macchine a vapore. Bruciando questi combustibili i gas serra che si generavano si sono accumulati negli anni nell'atmosfera, provocando un innalzamento progressivo delle temperature terrestri. Si stima, infatti, che i 17 dei 18 anni più caldi nella storia delle registrazioni climatiche si sono verificati a partire dal 2001, causati principalmente dalla dell'attività umana, come la combustione del carbonio, del petrolio e del gas, che hanno velocizzato questo fenomeno. Questi rapidi cambiamenti della temperatura terrestre si sarebbero dovuti verificare in centinaia di migliaia di anni, e non in semplici decenni (Godin, 2022).

L'incremento della temperatura media della superficie terrestre è stato di circa 0,85 °C tra il 1880 e il 2012, con un ritmo di 0,15- 0,20 °C per decennio. Alcuni



studi di paleoclimatologia, hanno rilevato che un incremento di temperatura così importante, come negli ultimi decenni, non si è mai verificato negli ultimi 2000 anni (Mann et al., 2008).

Alla base di questo fenomeno c'è il tanto citato "effetto serra" che, come evento naturale benefico, consente alla terra di limitare l'escursione termica, di trattenere parte dell'energia solare, permette di avere una temperatura mite e creare le condizioni per la formazione dell'acqua. Una parte dell'energia radiante proveniente dal sole viene riflessa dall'atmosfera, mentre un'altra parte penetra e riscalda gli strati bassi dell'atmosfera e la superficie della terra e dei mari. La terra però non riesce a trattenere tutta questa energia, e una parte di questa viene riflessa ulteriormente sotto forma di radiazioni infrarosse, di cui, alcune sfuggono e alcune vengono trattenute dall'atmosfera. L'effetto serra è principalmente reso possibile dalla presenza di alcuni gas che sono penetrabili dai raggi solari, ma che sono anche in grado di trattenere le radiazioni infrarosse.

Questi gas sono i cosiddetti, gas ad effetto serra, o gas climalteranti (GHG, *green house gas*) di cui cito i principali: vapore acqueo ( $H_2O$ ), anidride carbonica ( $CO_2$ ), perossido d'azoto ( $N_2O$ ), metano ( $CH_4$ ), l'esafluoruro di zolfo ( $SF_6$ ), i clorofluorocarburi (Cfc) e gli idroclorofluorocarburi (Hcfc). Una caratteristica comune di questi gas è quella di avere una vita che dura anni o addirittura millenni e possono mescolarsi molto bene all'atmosfera (Stefanon et al., 2018).

I GHG (gas ad effetto serra) sono presenti naturalmente in atmosfera, e sono necessari per il mantenimento di una temperatura adeguata allo sviluppo della vita sulla terra. Il problema sorge quando i loro livelli aumentano. Questi gas

possiedono delle caratteristiche singolari come, ad esempio, l'anidride carbonica che possiede un tempo di residenza molto alto, addirittura permane per secoli rispetto agli altri gas tra gli strati dell'atmosfera. Altri GHG hanno, invece, una diversa capacità di intrappolare il calore, il cosiddetto "forzante radioattivo", e un diverso tempo di residenza in atmosfera. Una molecola di metano, rispetto a una molecola di CO<sub>2</sub>, intrappola circa 23 volte più calore, ma ha un tempo di residenza molto inferiore, una decina d'anni anziché un centinaio come la CO<sub>2</sub> (Sachs, 2015).

Il fenomeno del riscaldamento globale è strettamente correlato all'incremento di concentrazione di CO<sub>2</sub> in atmosfera che è direttamente conseguente allo sviluppo dell'industria mondiale, la produzione di combustibili fossili e alla deforestazione.

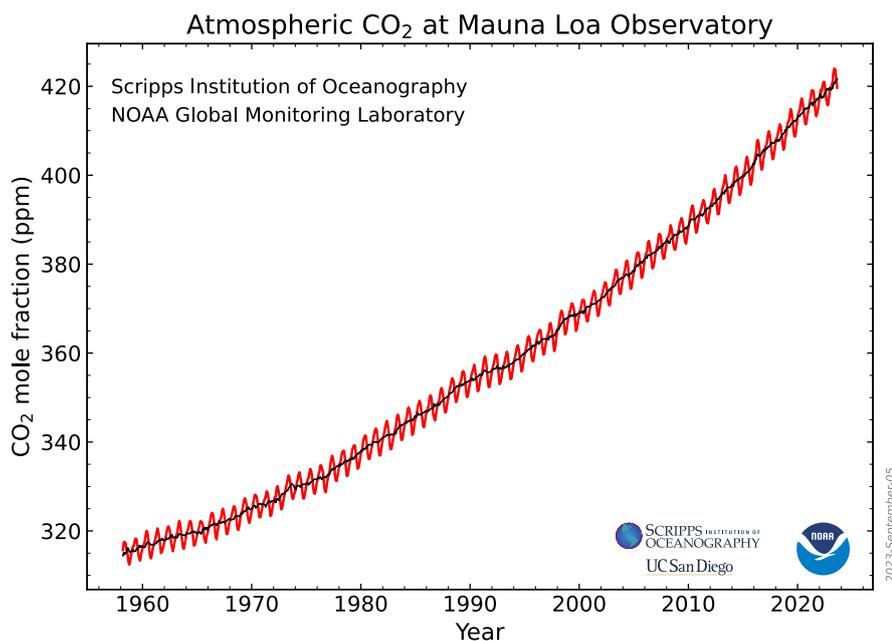


Figura 6. Andamento della concentrazione atmosferica di CO<sub>2</sub>, rilevata presso l'Osservatorio di Mauna Loa, Hawaii (2023)

Il grafico in Figura 6 mostra il livello di anidride carbonica media mensile misurata all'Osservatorio Mauna Loa, nelle Hawaii. I dati sull'anidride carbonica su Mauna Loa costituiscono il record più lungo di misurazioni dirette di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera. Questo studio di misurazione è stato avviato dal Professor C. D. Keeling del *Scripps Institution of Oceanography* nel marzo del 1958 (Keeling et al., 1976). Il *National Oceanic and Atmospher Administration* (NOAA) ha iniziato le proprie misurazioni di CO<sub>2</sub> nel maggio del 1974 e da allora hanno funzionato in parallelo con quelle prodotte dal gruppo del Professor Keeling. Le linee rosse nel grafico rappresentano i valori medi mensili di anidride carbonica centrati a metà di

ogni mese. Le linee nere rappresentano lo stesso, dopo la correzione per il ciclo stagionale medio. Il tracciato strumentale che risulta dallo studio in figura, chiamato anche curva di Kelling, mostra come la quantità di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera è aumentata significativamente con il passare degli anni (Sachs, 2015); questa è la diretta conseguenza della globalizzazione delle merci e la crescita dell'industria, che è direttamente correlata a tutti i danni ambientali che l'uomo sta provocando dai primi anni del Novecento.

La principale fonte di CO<sub>2</sub> è rappresentata dalla respirazione degli organismi viventi, che viene catturata per sintetizzare molecole organiche, tramite il processo della fotosintesi, e grazie a questo fenomeno, viene compensata la sua massiccia produzione naturale non comportando nessun accumulo in atmosfera. L'anidride carbonica prodotta per la respirazione e quella assorbita per la fotosintesi non entrano nella somma delle emissioni, al contrario di quanto avviene per la combustione delle riserve di materiale organico, a seguito della quale si accumula e viene immessa in atmosfera una grande quantità di CO<sub>2</sub>. Queste riserve di materiale organico sono rappresentate dal petrolio, dal carbone, dal gas naturale e dalle foreste. A questo tipo di emissione nociva, e quella più naturale rappresentata dalla CO<sub>2</sub> prodotta dalla respirazione, si aggiunge quella causata dall'ossidazione della sostanza organica nel suolo (Stefanon et al., 2018).

Ognuno dei gas climalteranti possiede una capacità intrinseca di contribuire al riscaldamento globale, che è data dalla sua forza radiante, cioè l'incremento della capacità di trattenere l'energia radiante in funzione dell'aumento della concentrazione del gas in atmosfera. Per poter stimare l'effetto di tutti i gas

effetto serra sull'incremento della temperatura terrestre, il contributo al riscaldamento globale di ogni sostanza viene espresso in *Global warming potential* (GWP) che è dato dal rapporto tra la capacità del gas di assorbire radiazioni infrarosse e la stessa capacità assorbente di un chilogrammo di CO<sub>2</sub> (Stefanon et al., 2018).

GLOBAL WORMING POTENTIALS GWP								
			GWP			GTP		
NOME DEL GAS	Formula chimica	Lifetime(anni)	20 anni	100 anni	500 anni	20 anni	100 anni	
ANIDRIDE CARBONICA	<b>CO2</b>	Variabile	1	1	1	1	1	
METANO	<b>CH4</b>	12(+ o - 3)	56	21	6,5	67-70	4-11	
PEROSSIDO D'ZOTO	<b>N2O</b>	120	280	310	170	277-284	234-297	

Tabella 2. United Nations Climate Change, Global Warming Potentials GWP, IPCC Second Assessment Report.

Come riportato in Tabella 2, la CO<sub>2</sub>, per definizione, ha un GWP di 1, indipendentemente dal periodo di tempo utilizzato, poiché è il gas utilizzato come riferimento. L'anidride carbonica rimane nel sistema climatico per molto tempo: le sue emissioni causano a loro volta aumenti delle concentrazioni atmosferiche di CO<sub>2</sub> che dureranno migliaia di anni. Si stima, invece, che il metano (CH<sub>4</sub>) abbia un GWP di 21 in 100 anni. Il metano emesso oggi dura in media circa due decenni, il che è

molto meno tempo dell'anidride carbonica, ma assorbe anche molta più energia della CO<sub>2</sub>. L'effetto netto della durata più breve è un maggiore assorbimento di energia si riflette nel GWP. Il GWP del metano rappresenta anche alcuni effetti indiretti, come il fatto che CH<sub>4</sub> è un precursore dell'ozono e l'ozono è esso stesso un GHG. Il perossido di azoto (N<sub>2</sub>O) ha un GWP 310 volte quello della CO<sub>2</sub> per una scala temporale di 100 anni. L'N<sub>2</sub>O emesso oggi rimane nell'atmosfera per oltre 100 anni, in media. I clorofluorocarburi (Cfc), gli idrofluorocarburi (Hfc), gli idroclorofluorocarburi (Hccf), i perfluorocarburi (Pfc) e l'esafluoruro di zolfo (SF<sub>6</sub>) sono talvolta chiamati gas ad alto GWP perché, per una determinata quantità di massa, intrappolano sostanzialmente più calore della CO<sub>2</sub> (EPA, 2023).

Oltre al *Global Warming Potential* (GWP, potenziale di riscaldamento globale), per confrontare la forza, con cui un'emissione influenza il cambiamento climatico, si utilizza anche un altro indicatore, cioè il *Global Temperature Change Potential* (GTP, potenziale per il cambiamento globale della temperatura). Questo indicatore esprime una relazione causa-effetto tra la variazione della concentrazione di un gas espresso in anidride carbonica equivalente, e un aumento della temperatura, riferita a un determinato tempo. Il GTP misura l'effetto potenziale sulle temperature, invece il GWP misura l'energia che viene aggiunta al sistema climatico, ma non è detto che questa energia aggiunti influenzi anche la temperatura. Per calcolare le emissioni complessive che aggravano l'effetto serra, le quote dei singoli inquinanti vengono convertite in tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalente, ottenute moltiplicando le emissioni di ogni gas per il proprio potenziale di riscaldamento (*Global Warming Potential*) (Zicari, 2015).

## 2.2.2. EMISSIONI DEI SISTEMI ZOOTECNICI

L'impatto sui cambiamenti climatici generato dal settore zootecnico globale è significativo. Nel loro studio (Tabella 3) Gerber e collaboratori hanno stimato che le emissioni globali di gas climalteranti legate alla produzione zootecnica rappresentano il 14,5% delle emissioni indotte dall'uomo (Gerber et al., 2013). Queste stime si basano su una valutazione del ciclo di vita che considera tutte le fasi della produzione. Le principali fonti di emissioni di GHG sono: la produzione e la lavorazione dei mangimi (45%), la fermentazione enterica dei ruminanti (39%) e lo stoccaggio ed elaborazione del letame (10%).

FONTI DI EMISSIONI DI GAS A EFFETTO SERRA				
	ATTIVITÀ	GHG	INCLUSO	ESCLUSO
A MONTE	produzione di mangime	N2O	diretto e indiretto da: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Applicazione di N sintetico</li> <li>• Applicazione del letame</li> <li>• Deposizione diretta di letame da parte di animali al pascolo</li> <li>• Gestione dei residui di coltura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perdite N2O relative a variazioni delle scorte di carbonio (C)</li> <li>• Combustione di biomassa</li> <li>• Fissazione biologica</li> <li>• Emissioni da fertilizzanti (non N)</li> </ul>
	non produzione di mangime	CO2 N2O CH4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo di energia nelle operazioni sul campo</li> <li>• Consumo di energia nel trasporto e nella lavorazione dei mangimi</li> <li>• Fabbricazione di fertilizzanti</li> <li>• Fabbricazione dell'alimentazione</li> <li>• Produzione di mangimi non coltivati (farina di pesce, calce e aminoacidi sintetici)</li> <li>• CH4 dalla coltivazione del riso</li> <li>• Modifica dell'uso del suolo relativa alla coltivazione della soia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambiamenti negli stock di carbonio derivanti dall'uso del suolo nell'ambito di pratiche di gestione costanti</li> </ul>
PRODUZIONE ANIMALE	produzione animale	CH4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fermentazione enterica</li> <li>• Gestione del letame</li> </ul>	
		N2O	<ul style="list-style-type: none"> <li>• N2O diretto e indiretto dalla gestione del letame</li> </ul>	
		CO2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo diretto di energia in azienda zootecnica (ad es. raffreddamento, ventilazione e riscaldamento)</li> </ul>	
FLUSSI POST ALLEVAMENTO	post allevamento	CO2 CH4 HFCs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trasporto di animali vivi e prodotti all'impianto di macellazione e trasformazione</li> <li>• Fermentazione enterica</li> <li>• Gestione del letame</li> <li>• Trasporto di prodotti trasformati al punto vendita</li> <li>• Refrigerazione durante il trasporto e la lavorazione</li> <li>• Trasformazione primaria di carne in carcasse o tagli di carne e uova</li> <li>• Fabbricazione di imballaggi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trattamento delle acque reflue in loco</li> <li>• Emissioni da rifiuti animali o emissioni evitate dal sito</li> <li>• Generazione di energia dai rifiuti</li> <li>• Emissioni relative alla macellazione</li> <li>• Sottoprodotti (ad es. materiale di rendering, frattaglie, pelli e pelle)</li> <li>• Consumo di energia al dettaglio e post-vendita al dettaglio</li> <li>• Smaltimento dei rifiuti al dettaglio e fasi post-vendita</li> </ul>

Tabella 3. Fonti di emissioni di gas effetto serra (GHG) (Gerber et al., 2013).

### *Emissioni di metano (CH<sub>4</sub>) dalla fermentazione enterica*

I ruminanti, che comprendono: bufali, bovini e ovicapri, producono CH<sub>4</sub> come parte del loro processo digestivo. Nel rumine (stomaco) la fermentazione della popolazione microbica scompone i carboidrati in molecole più semplici, che possono essere digerite dall'animale. Il metano è un diretto sottoprodotto di questo processo. Razioni alimentari con componenti scarsamente digeribili, cioè fibrose, causano un incremento nelle emissioni di CH<sub>4</sub> per unità di energia ingerita. Anche le specie non ruminanti, come i suini, producono metano, ma in questo caso le quantità sono molto più basse al confronto con i ruminanti (Gerber et al., 2013).

### *Emissioni di metano e perossido d'azoto (N<sub>2</sub>O) dalla gestione dei reflui.*

Durante la fase di stoccaggio e lavorazione, a causa di due componenti chimiche presenti nel letame, si possono emettere gas ad effetto serra: la materia organica può essere convertita in metano e azoto che porta alla formazione di emissioni di protossido d'azoto. Dalla decomposizione anaerobica del materiale organico, presente nelle feci, viene rilasciato metano. Ciò si verifica principalmente quando il letame è presente in forma liquida, come nelle lagune di contenimento o nei serbatoi di contenimento. Invece, durante le fasi di stoccaggio e lavorazione, l'azoto viene rilasciato nell'atmosfera come ammoniaca (NH<sub>3</sub>) che può essere successivamente trasformata in perossido d'azoto (emissioni indirette) (Gerber et al., 2013).



*Anidride carbonica e perossido d'azoto emessi dalla produzione, trasformazione e trasporto di mangimi.*

Le emissioni di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) provengono principalmente da due fonti: la prima, dall'espansione delle culture di mangimi e dai pascoli negli habitat naturali che causano l'ossidazione del carbonio presente nel suolo e nella vegetazione. La seconda, proviene dall'uso di carburanti fossili per fabbricare fertilizzanti sintetici, elaborarli e trasportare i mangimi. Invece, le emissioni di perossido d'azoto derivano principalmente dall'uso di fertilizzanti, sia biologici che sintetici, per la produzione di mangimi e dall'utilizzo del letame dalla deposizione diretta sul pascolo o durante il suo utilizzo come fertilizzante (Gerber et al., 2013).

*Emissioni di anidride carbonica dal consumo di energia.*

Viene consumata energia lungo tutta la catena di approvvigionamento del bestiame, producendo enormi quantità di CO<sub>2</sub>. Riguardo la produzione di mangimi, il consumo di energia si riferisce principalmente alla produzione di fertilizzanti e all'utilizzo di macchinari per la raccolta, gestione, lavorazione e trasporto delle culture. L'energia viene anche utilizzata nel sito di produzione animale, direttamente o indirettamente, durante tutte le fasi di vita del bestiame (Gerber et al., 2013).

I bovini partecipano in modo determinante alle emissioni con circa 4,6 giga tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalente, che rappresenta il 65% delle emissioni del settore zootecnico. Fanno parte di questa categoria sia i bovini da carne (che producono carne e composti non commestibili) e bovini da latte (che producono sia carne che latte, oltre che composti non commestibili), i quali generano quantità molto simili di gas climalteranti. Il pollame, il bufalo, il maiale e i piccoli ruminanti producono emissioni con valori molto più bassi, che vanno dal 7 al 10% delle emissioni del settore. Se le emissioni sono espresse su base proteica, la categoria con la più alta intensità di emissioni è la carne bovina (quantità di GHG emessi per unità di produzione prodotta), con una media di oltre 300 Kg di CO<sub>2</sub>-eq per chilogrammo di proteina; al secondo posto troviamo la carne e il latte di piccoli ruminanti, con una media di produzione di 165 e 112 Kg di CO<sub>2</sub>-eq per chilogrammo di proteine, rispettivamente. Il latte di vacca, il pollo e il maiale hanno un'intensità di emissioni medie globali molto più basse, tutte inferiori a 100 Kg di CO<sub>2</sub>-eq per chilogrammo di proteine commestibili (Grafico 1) (Gerber et al., 2013).

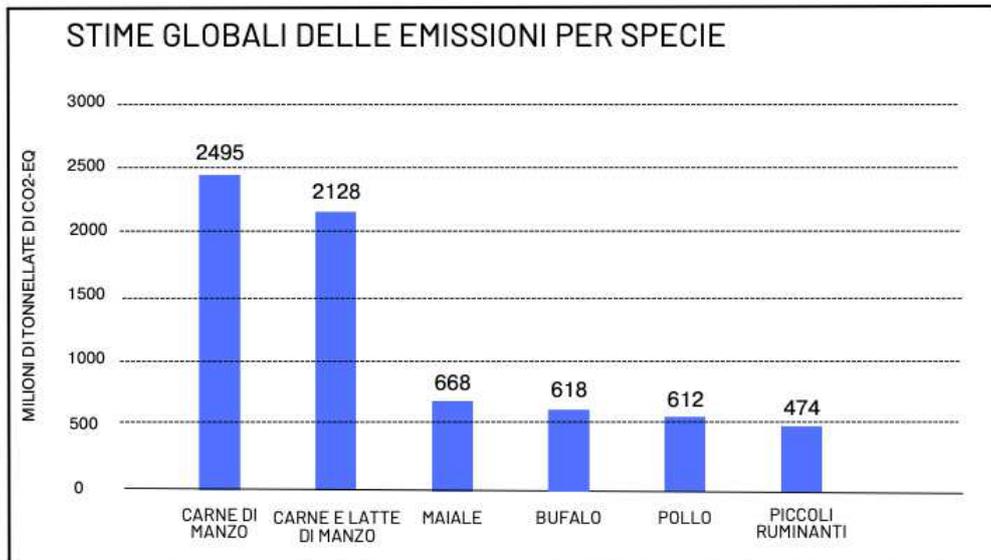


Grafico 1. Stime globali delle emissioni per specie (Gerber et al., 2013).

Le condizioni agro-ecologiche diverse, la gestione e la catena di approvvigionamento e le pratiche agricole spiegano come per i ruminanti, ma anche la carne di maiale, pollo e uova, i livelli di emissioni variano notevolmente tra i prodotti, come rappresentato nel Grafico 1. È proprio all'interno di questa ampia gamma di variabilità, dove il divario tra prodotti con la più alta intensità di emissioni e quelli con la più bassa, che è possibile trovare molte opzioni di mitigazione per le emissioni di gas ad effetto serra (Gerber et al., 2013).

Il totale delle emissioni della produzione, come raffigurato in Figura 7, trasformazione e trasporto di mangimi rappresentano il 45% di tutte le emissioni del settore agroalimentare. La fertilizzazione delle colture, per la produzione di mangimi, e lo spargimento di letame sui pascoli generano emissioni di perossido d'azoto che sono circa la metà dell'emissione dei mangimi, ovvero un quarto di tutte

le emissioni complessive del settore agroalimentare. Meno del 10% delle emissioni del settore, circa un quarto delle emissioni dei mangimi, corrispondono al cambiamento dell'uso del suolo (Gerber et al., 2013).

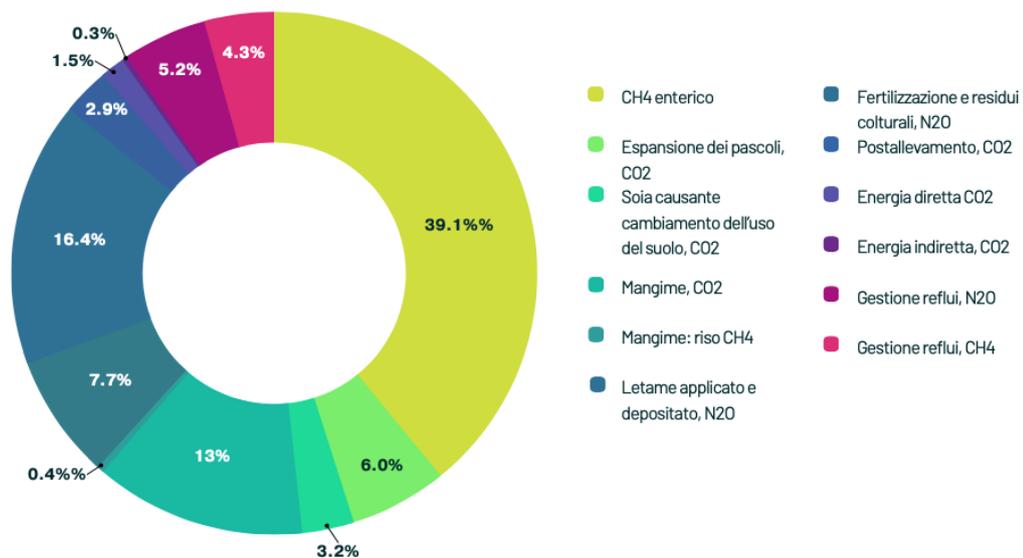


Figura 7. Emissioni globali dalle catene di approvvigionamento del bestiame per categoria di emissioni. (Gerber et al., 2013).

Le fermentazioni enteriche sono la seconda più grande fonte di emissioni e contribuiscono per circa il 40% delle emissioni totali. In particolare, i bovini producono la maggior parte del metano enterico (77%), seguiti dai bufali 13% e i piccoli ruminanti 10%. Le emissioni di perossido d'azoto e metano, dovute alla lavorazione e all'età del letame (escluse l'applicazione della deposizione), rappresentano circa il 10% di tutte le emissioni del settore, mentre le emissioni

associate al consumo energetico diretto o indiretto, sono legate principalmente alla produzione di mangimi e fertilizzanti. In totale, lungo la catena alimentare, il consumo di energia contribuisce per circa il 20% di tutte le emissioni del settore.

I profili delle emissioni totali a livello mondiale variano notevolmente a seconda delle regioni prese in considerazione. Le differenze tra queste regioni derivano dalle quote di ruminanti e monogastrici presenti nelle rispettive aree, e dalla differenza dell'intensità di emissione per ciascun prodotto. L'Asia orientale ha il secondo più alto livello di emissioni mondiali (oltre una gigatonnellata di CO<sub>2</sub>-eq) grazie alla più alta produzione di bestiame per carne bovina e suina. I Caraibi e l'America Latina producono circa 1,3 gigatonnellate di CO<sub>2</sub>-eq a causa di un'imponente produzione di carne bovina specializzata. Questo ha portato, negli ultimi anni, ad un'espansione sia del pascolo che dei terreni coltivati per la produzione di mangimi, con elevate emissioni di CO<sub>2</sub> causato da questi cambiamenti nell'uso del suolo (Gerber et al., 2013).

Invece, l'Europa occidentale e il Nord America hanno livelli di emissioni di gas ad effetto serra molto simili (oltre 0,6 giga tonnellate di CO<sub>2</sub>-eq), tuttavia, i due modelli di emissione sono differenti. Nell'Europa occidentale la carne bovina proviene principalmente da mandrie da latte, con un'intensità di produzione di GHG più basse. Al contrario, in Nord America, quasi 2/3 delle emissioni totali del settore provengono dalla produzione di carne bovina, e l'intensità di emissione di pollo, maiale e latte sono, però, inferiori rispetto all'Europa occidentale, poiché la regione generalmente si basa su l'utilizzo di mangimi a bassa intensità di emissioni. Allo stesso livello di queste due regioni, troviamo le emissioni totali del settore dell'Asia

meridionale, ma a differenza del Nord America e dell'Europa occidentale, la produzione asiatica di proteina equivale alla metà di quella prodotta da queste due regioni, causa l'elevata quantità di bovini allevati. Per lo stesso motivo, le emissioni prodotte nell'Africa subsahariana sono molto elevate, nonostante in questa regione si abbia una produzione di proteine abbastanza bassa. (Gerber et al., 2013).

#### 2.2.2.1. BOVINI

I bovini contribuiscono per il 65% alle emissioni effetto serra nel settore zootecnico (4,6 giga tonnellate di CO<sub>2</sub>-eq), rappresentando i principali produttori. Nello specifico, la produzione di carne bovina produce 2,9 giga tonnellate (41%) delle emissioni totali del settore, mentre la produzione di latte produce 1,4 giga tonnellate (20%). La fermentazione enterica è la principale fonte di queste emissioni da parte dei bovini, e rappresentano rispettivamente il 46% e il 43% delle emissioni totali nella produzione del latte e carne. Nel settore bovino, il secondo più grande produttore di emissioni è il comparto dei mangimi, contribuendo per circa il 36% delle emissioni totali di latte e carne bovina (Figura 8).

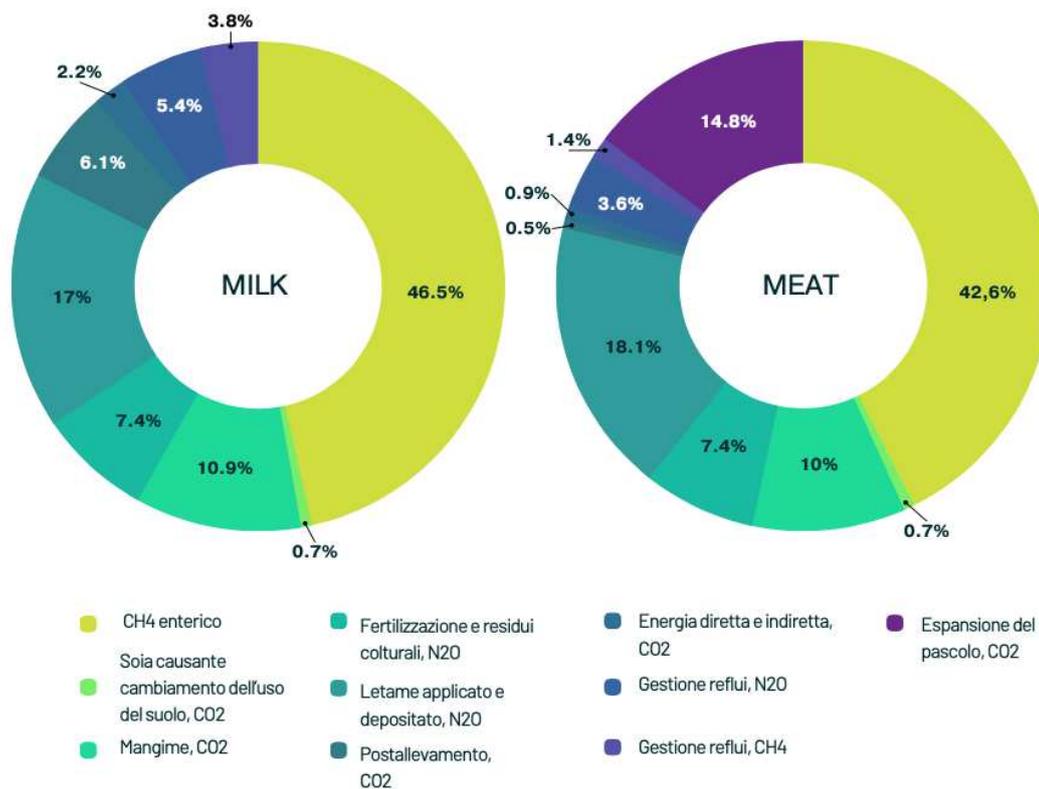


Figura 8. Emissioni globali dal latte bovino e dalle catene di approvvigionamento delle carni bovine, per categoria di emissioni (Gerber et al., 2013).

Esiste anche una netta differenza nel livello di intensità di emissione tra le carni bovine prodotte da mandrie da carne specializzata, e madre da latte: l'intensità delle emissioni derivanti da mandrie da carne specializzate è quasi quattro volte quella prodotta da madre da latte (68 contro 18 Kg di CO<sub>2</sub>-eq per Kg di peso vivo). Questa netta differenza è principalmente imputabile al fatto che, le mandrie da latte, sono produttrici sia di latte che carne mentre, dall'altra parte, le mandrie di manzo specializzate producono solo carne. Di conseguenza, le emissioni delle

mandrie da latte vengono attribuite sia al latte che alla carne prodotte mentre, per quanto riguarda le carni bovine, vengono assegnate solo le emissioni della carne.

Anche nell'ambito dei mangimi esiste una notevole differenza tra questi due sistemi. Generalmente, gli allevamenti che si basano sul pascolo hanno un'intensità di emissione più elevata rispetto ai sistemi misti, a causa delle differenze nella qualità dei mangimi e la gestione delle mandrie. Per quanto riguarda le carni bovine specializzate, le intensità medie di emissioni sono particolarmente elevate mentre, la differenza nell'intensità di emissioni tra pascolo e sistemi misti è poco elevata per le carni bovine provenienti da mandrie e da latte, ed è praticamente trascurabile per il solo latte (Gerber et al., 2013).

#### 2.2.2.2. BUFALO

La produzione di bufali comprende carne, latte e altri prodotti, che partecipano alle emissioni totali di gas ad effetto serra per il 9% delle emissioni del settore. Esse ammontano a 618 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub>-eq, di cui 390 milioni di tonnellate attribuiti alla produzione di latte, 180 alla produzione di carne e altri 48 attribuiti ad altri prodotti. Nel settore della produzione di bufali, le principali fonti di emissione sono: la fermentazione enterica e la fertilizzazione dei campi per la produzione di mangimi. Per quanto riguarda la fermentazione enterica, oltre il 60% delle emissioni prodotte dalla produzione di carne e latte di bufalo proviene dalla digestione dei mangimi, rispetto al 45% per i bovini (Figura 9). Questa grande



differenza è dovuta generalmente all'inferiore grado di digeribilità delle razioni alimentari utilizzate.

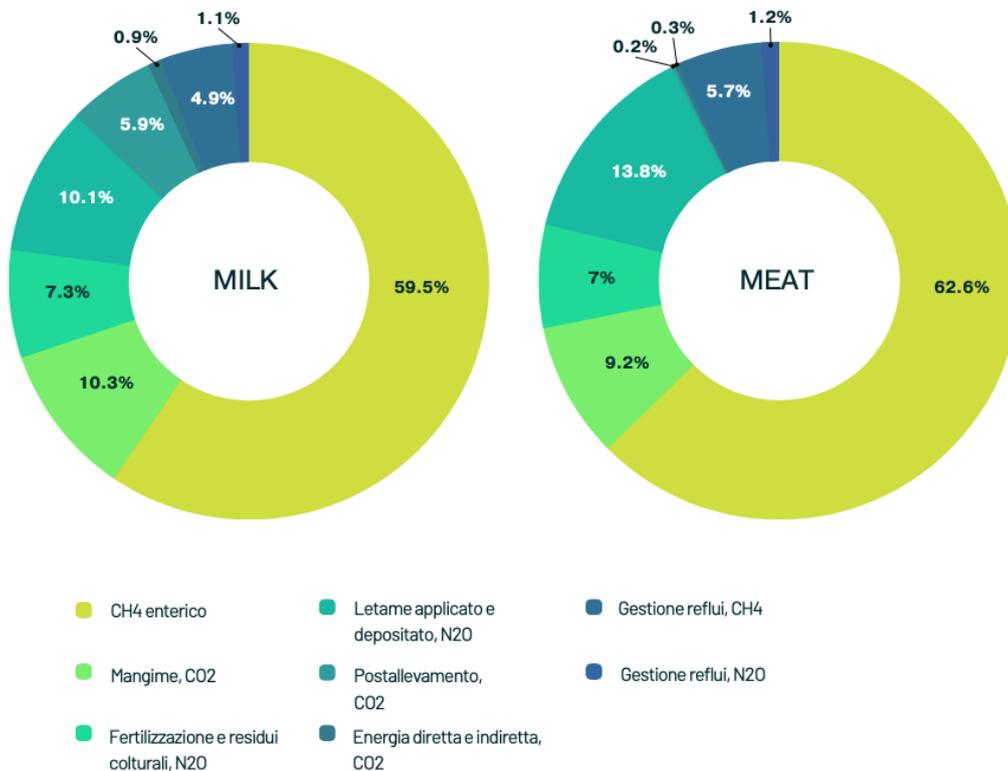


Figura 9. Emissioni globali dal latte di bufala e dalle catene di approvvigionamento di carne, per categoria di emissioni (Gerber et al., 2013).

L'utilizzo di fertilizzanti per la produzione di mangimi costituisce la seconda fonte di emissioni, che rappresenta il 21% per la produzione di carne e il 17% per quella del latte. La produzione di bufalo è concentrata maggiormente in Asia meridionale, Nordafrica e sud-est asiatico, con la sola Asia meridionale che produce fino al 90% di latte e il 70% di carne di bufalo globale (Gerber et al., 2013).

### 2.2.2.3. MAIALE

È stato stimato che, a livello globale, la produzione di carne di maiale emetta circa 668 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub>-eq, che rappresentano il 9% delle emissioni del settore zootecnico. Le principali fonti che contribuiscono a queste emissioni sono: la produzione di mangimi e la gestione dei reflui zootecnici. La produzione di mangimi contribuisce al 48% di tutte le emissioni, e un ulteriore 12,7% è rappresentato dal cambiamento dell'uso del suolo, causato dall'espansione della coltivazione della soia come mangime. L'utilizzo di fertilizzanti rappresenta il 27% delle emissioni, che comprende l'uso di macchinari e il trasporto delle materie prime. La seconda più grande fonte di emissioni nel comparto suinicolo è: lo stoccaggio e l'elaborazione del letame, che rappresenta il 27,4% delle emissioni totali, dove la maggior parte delle emissioni di letame sono sotto forma di metano e la restante parte è sotto forma di perossido d'azoto (Figura 10).

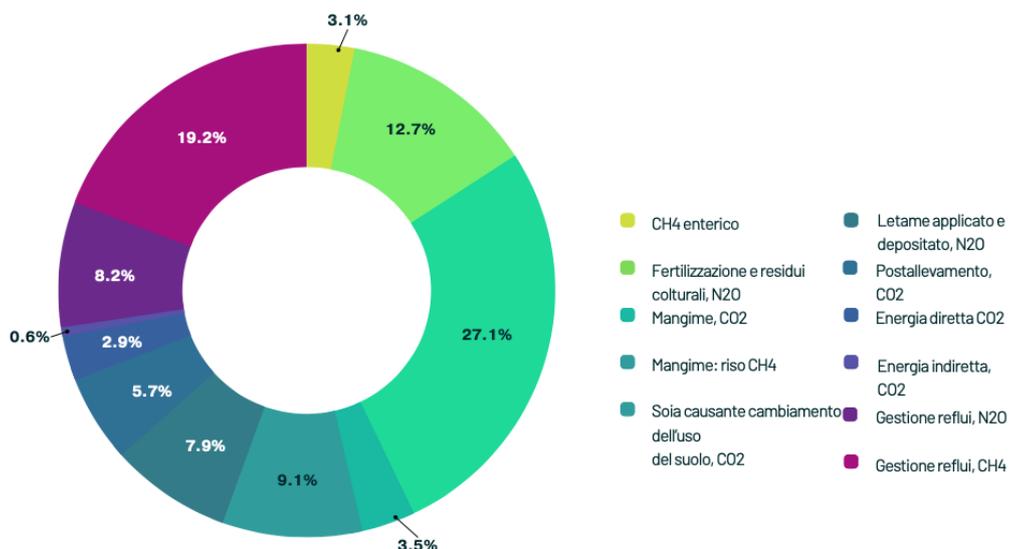


Figura 10. Emissioni globali dalle catene di approvvigionamento dei suini, per categoria di emissioni (Gerber et al., 2013).

Le differenze nell'intensità di emissioni, su scala globale, tra i differenti sistemi di produzione suinicola sono rilevanti. I sistemi di allevamento misti hanno un'intensità di emissione media più elevata rispetto a quelle industriali o di cortile. Nel caso dell'allevamento da cortile, le emissioni di letame sono relativamente elevate, causate da una maggior quantità di solidi volatili ed escrezioni di azoto per Kg di carne prodotta che è causata da una scarsa conversione alimentare. Le emissioni di sistemi da cortile sono, tuttavia, compensate da emissioni della produzione di mangimi relativamente basse. Un caso particolare sono i sistemi misti, con una produzione di emissioni generalmente superiore anche a quella del sistema industriali, ciò è spiegato da una conversione alimentare più povera e da una quota più elevata di prodotto a base di riso nella razione per gli animali. L'utilizzo del riso è spiegato da un'elevata quantità di allevamenti misti che si trovano nelle aree di coltivazione del riso, (est e sud-est asiatico); da sola, la produzione di riso, emette metano che ha un'intensità di emissione più elevata rispetto alla produzione di altri prodotti per mangimi. l'intensità di emissioni elevate è anche associata allo stoccaggio di letame, con produzione di metano. Per cause culturali la popolazione mondiale di suini è geograficamente concentrata in alcune regioni: Asia orientale, Europa e America. Le principali differenze nelle emissioni di queste regioni sono spiegate dalla variazione delle materie prime per mangimi, nella produttività degli animali e nel clima. Nell'est e nel sud-est asiatico, le emissioni, derivanti dalla lavorazione del letame, sono relativamente più importanti rispetto ad altre regioni, principalmente a causa dei diversi sistemi di stoccaggio e delle condizioni climatiche. In America Latina, Caraibi ed Europa gli alti valori di emissioni sono causati da un'alimentazione con un'alta percentuale di soia,

proveniente principalmente da aree in cui si è verificato un cambiamento del suolo negli ultimi vent'anni (Gerber et al., 2013).

#### 2.2.2.4. OVICAPRINI

L'allevamento delle pecore e delle capre rappresenta circa il 6,5% delle emissioni globali del settore, che ammonta a 475 milioni di tonnellate CO<sub>2</sub>-eq, di cui 299 milioni sono rappresentati da prodotti a base di carne, 130 alla produzione di latte e 46 milioni di altri beni. Per quanto riguarda di produzione di gas climalterante derivanti dalla fermentazione enterica e dalla fertilizzazione dei campi, il complesso degli ovicapri si avvicina molto al settore del bufalo. Oltre il 55% di tutte le emissioni di questi piccoli ruminanti e dei loro prodotti lattiero caseari, provengono dalle fermentazioni enteriche (Figura 11). Nell'ambito della produzione di pecore e capre bisogna considerare che questi animali, oltre alla produzione di carne e latte, producono anche fibre, che rappresentano una parte sostanziale delle emissioni. Questi ruminanti producono infatti lana, cashmere e mohair, e il valore economico di questi prodotti è stato utilizzato per suddividere le emissioni tra prodotti commestibili (carne e latte) e prodotti non commestibili (fibre naturali). In quelle regioni in cui la produzione di fibre naturali è molto elevata ed ha un alto valore economico, una quota sostanziale delle emissioni viene attribuita a questi prodotti. A livello globale, 45 milioni di tonnellate di produzione di gas climalteranti sono derivanti dalla produzione di fibre naturali (Gerber et al., 2013).

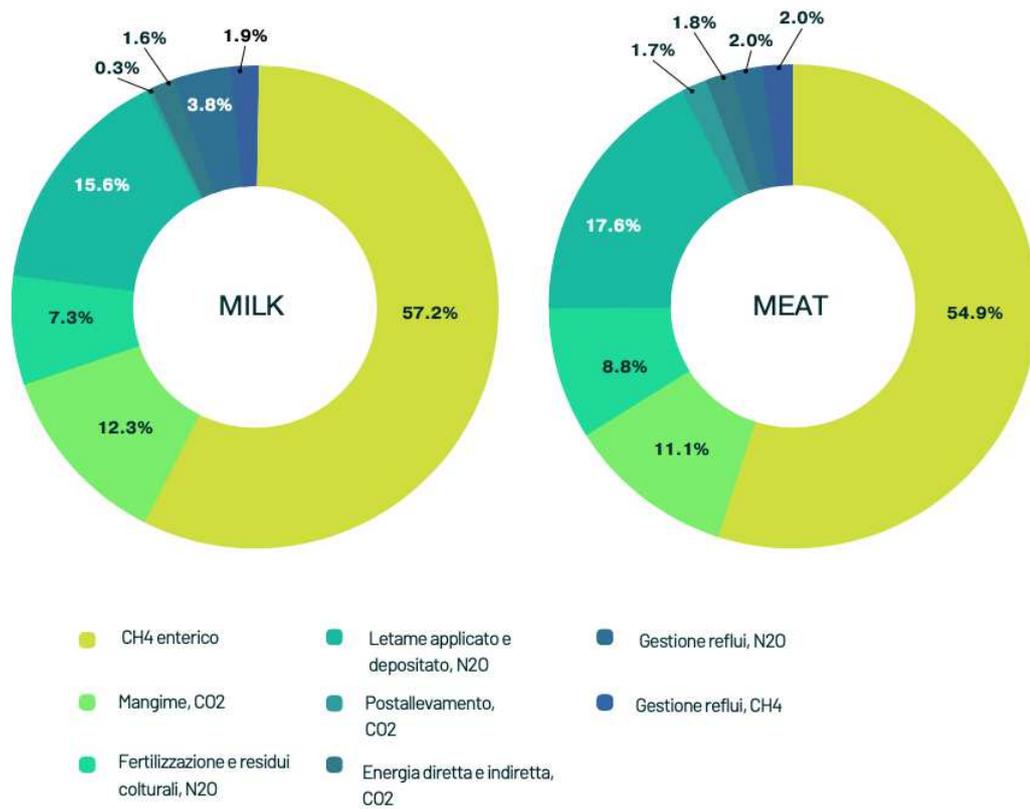


Figura 11. Emissioni globali dalle catene di approvvigionamento dei piccoli ruminanti, per categoria di emissioni (Gerber et al., 2013).

#### 2.2.2.5. POLLO

A livello globale, la catena di produzione di carne di pollo emette emissioni di gas ad effetto serra che equivalgono a 606 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub>-eq, l'8% delle emissioni del settore zootecnico. Nel settore avicolo, la principale fonte di emissione sono le produzioni di mangimi, che comprendono: la fertilizzazione dei campi, l'uso di macchinari e i trasporti degli stessi. La produzione di mangimi contribuisce per circa il 57% delle emissioni del comparto pollo e uova, con un'ulteriore 21,1% relativo all'espansione della coltivazione della soia, nel caso della carne, e il 12,7% nel caso delle uova (Figura 12). La coltivazione della soia, in molte regioni, è responsabile della conversione del suolo naturale in suolo agricolo, contribuendo alla produzione di GHG. La razione del pollo da carne è più ricca di proteine e, in media, include una quota più elevata di soia. La gestione delle deiezioni prevede due sistemi: la maggior parte delle deiezioni della produzione di pollo da carne è gestito in modo secco, che rappresenta il 6% delle emissioni, mentre, per quanto riguarda la produzione di uova, queste rappresentano il 20% delle emissioni a causa della gestione dei reflui i sistemi liquidi con deposito di fossa a lungo termine.

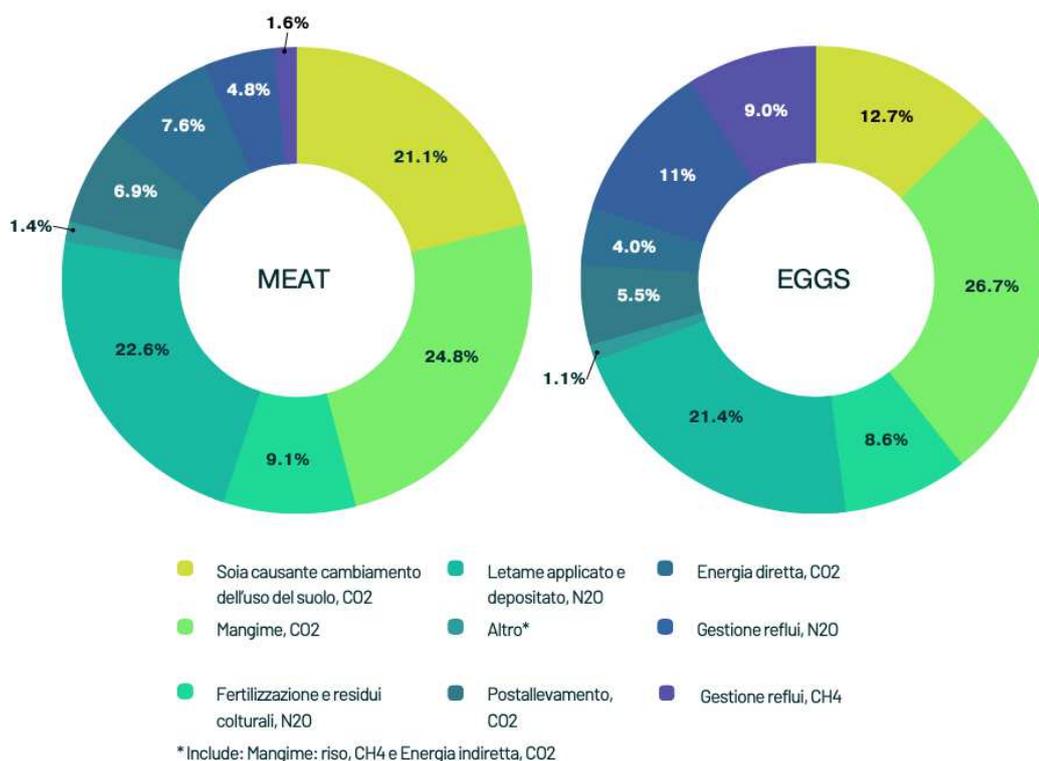


Figura 12. Emissioni globali da carne di pollo e catene di approvvigionamento di uova, per categoria di emissioni (Gerber et al., 2013).

I più grandi produttori di pollo nel mondo sono l'America Latina, i Caraibi, il Nord America e l'Est e il sud-est asiatico, e quest'ultima regione domina anche la produzione di uova. Tra queste regioni l'intensità media di emissioni sono abbastanza simili, e riflettono una standardizzazione dei sistemi di produzione e livelli tecnologici. Tuttavia, i sistemi di allevamento nordamericani hanno un'emissione leggermente inferiore, grazie a una buona conversione alimentare e l'utilizzo di un'alimentazione a bassa intensità di emissioni (circa 1 Kg di CO<sub>2</sub>-eq per chilogrammo di sostanza secca ingerita). Le regioni che utilizzano mangimi con intensità di emissioni più elevata, come l'Europa occidentale, America latina e

Caraibi, utilizzano mangimi che provengono da aree deforestate, le quali contribuiscono in modo elevato alla produzione di gas ad effetto serra e alla perdita di biodiversità. Per quanto riguarda la differenza di emissioni tra l'Est, Sud-est asiatico e Nord America, è dovuta ai differenti rapporti di conversione alimentare dei mangimi più poveri e allo stoccaggio anaerobico delle deiezioni (Gerber et al., 2013).

## 2.3. IL CARBONIO

### 2.3.1. IL CICLO DEL CARONIO

Il carbonio (C) è un elemento che sta alla base di tutta la vita. Il suo ciclo globale può essere suddiviso in due categorie: il ciclo geologico, che si misura su scale temporali di milioni di anni, e il biologico/fisico, che opera su scale temporali di giorni o migliaia di anni. Il carbonio viene ottenuto dall'ecosistema attraverso l'atmosfera e i numerosi organismi autotrofi, come le piante, che possiedono dei meccanismi specializzati che ne consentono l'assorbimento. Parte di questo carbonio viene trasmesso agli animali tramite l'alimentazione, ed espulso poi in atmosfera sotto forma di anidride carbonica. La CO<sub>2</sub> arriva, poi, all'oceano per semplice diffusione. Tramite il processo della respirazione e della decomposizione (principalmente operata da batteri e miceti che consumano materia organica) il carbonio biologicamente fissato ritorna in atmosfera. Ma i flussi antropogenici sono solo a senso unico e questa caratteristica è ciò che porta a uno squilibrio nel bilancio



globale del carbonio. Tali emissioni sono aggiunte nette al ciclo biologico o derivano da modifiche dei flussi all'interno del ciclo (FAO, 2006).

### 2.3.2. CONTRIBUTO DELLA ZOOTECNIA AL RILASCIO DI CARBONIO

Le principali fonti di emissioni antropogeniche di anidride carbonica sono: le popolazioni umane, la crescita economica, la tecnologia e i requisiti energetici primari. Annualmente le aggiunte nette di carbonio in atmosfera sono stimate tra il 4,5 e il 6,5 miliardi di tonnellate, e i maggiori responsabili sono: la combustione di combustibili fossili e i cambiamenti nell'uso del suolo, che distruggono il carbonio organico nel suolo. Il rilascio diretto netto di carbonio attribuito al settore zootecnico è solo una piccola parte, molto di più viene rilasciato indirettamente da altre fonti tra cui: la combustione di combustibili fossili per produrre fertilizzanti e nel trasporto di prodotti animali, rilascio di metano dalle pratiche di fertilizzazione dei campi, l'utilizzo del letame e degrado del suolo (FAO, 2006).

Ai cambiamenti dell'uso del suolo, causa indiretta dell'allevamento di bestiame, vengono attribuiti 2,4 miliardi di tonnellate di CO<sub>2</sub> emessi all'anno. I cambiamenti dell'uso del suolo hanno un impatto diretto sui flussi di carbonio, e molti di questi cambiamenti sono dovuti all'allevamento, come ad esempio: pascoli marginali riconvertiti in foreste. Una foresta contiene un quantitativo di carbonio più alto di un campo di colture o di pascoli annuali, e quando queste foreste vengono bonificate o bruciate, grandissime quantità di carbonio vengono rilasciate in atmosfera dalla vegetazione e dal terreno (FAO, 2006). I suoli sono i più grandi

bacini di contenimento del carbonio, dove vengono immagazzinate tra 1100 e 1600 miliardi di tonnellate di C (Sundquist, 1993), più del doppio della vegetazione vivente (560 miliardi di tonnellate) o dell'atmosfera (750 miliardi di tonnellate). In definitiva, anche i più piccoli cambiamenti del flusso del carbonio immagazzinato nel suolo potrebbero avere un impatto significativo sull'equilibrio globale del carbonio (Rice, 1999).

Lungo la catena alimentare, le emissioni di CO<sub>2</sub> derivano, in gran parte, dal trasporto di prodotti animali, che possono superare gli 0,8 milioni di tonnellate all'anno. Il trasporto prevede principalmente due fasi: consegna di mangimi agli allevamenti e consegna di prodotti animali ai mercati di consumo. Questi flussi di trasporto aggiungono grandissime quantità di emissioni al bilancio di CO<sub>2</sub> del bestiame (FAO,2006).

## 2.4. EUTROFIZZAZIONE

### 2.4.1. IL CICLO DELL'AZOTO

L'azoto (N) è un elemento centrale per la vita e svolge un ruolo fondamentale nell'organizzazione e nella funzione degli ecosistemi del mondo. La disponibilità di azoto, per gli ecosistemi, sia terrestri che acquatici, è un fattore chiave che determina la biodiversità della vita vegetale, le dinamiche di popolazione e i processi ecologici vitali come: la produttività delle piante, il ciclo del carbonio e dei minerali nel suolo (Vitousek et al., 1997).

A differenza del carbonio, l'azoto, anche se la sua richiesta da parte degli organismi per sopravvivere e crescere è molto alta, non è in gran parte disponibile in condizioni naturali. Per la maggior parte degli organismi viventi questo elemento viene fornito attraverso i tessuti di organismi, sei viventi che morti. In generale, l'azoto viene catturato dall'atmosfera da microrganismi viventi nel suolo, come batteri, che sono in grado di fissare l'azoto e convertirlo in forme diverse, come l'ammoniaca ( $\text{NH}_3$ ), che può essere poi utilizzata dalle piante. Questo processo è detto fissazione dell'azoto, e nel frattempo altri microrganismi rimuovono dall'azoto dal suolo e lo rimettono in atmosfera, seguendo un processo chiamato denitrificazione, che riporta l'azoto in atmosfera in varie forme, principalmente  $\text{N}_2$  (FAO, 2006).

#### 2.4.2. DEFINIZIONE E ORIGINE

Per definizione, l'eutrofizzazione è l'arricchimento di un ambiente da parte dei nutrienti, più in particolare, il termine si riferisce all'arricchimento da parte di composti dell'azoto (N) e del fosforo (P) delle acque dolci e salate. L'eutrofizzazione si manifesta sia come fenomeno naturale, che coinvolge le acque lacustri, ma è soprattutto legato alle attività antropiche. Le fonti maggiori di fosforo sono gli insediamenti abitativi e l'industria, ma la principale fonte di inquinamento da azoto è rappresentata dall'agricoltura. L'allevamento e l'agricoltura contribuiscono in modo significativo all'arricchimento dei suoli di azoto e fosforo, soprattutto attraverso la fertilizzazione dei terreni agricoli e l'utilizzo di deiezioni animali come fertilizzante (Stefanon et al., 2018).

L'eccesso di nutrienti nel suolo, considerando la quantità e le tempistiche di asportazione dei nutrienti da parte delle culture vegetali, determina un rischio di accumulo di nutrienti nelle acque superficiali e di falda. I principali trasferimenti dei composti alle acque avvengono per erosione e scorrimento nel caso del P, e prevalentemente per lisciviazione al di sotto del livello delle radici e per scorrimento per quanto riguarda N (Torrent et al., 2007; Stefanon et al., 2018).

Gli effetti negativi provocati dall'inquinamento e dall'accumulo dei nutrienti sono molto impattanti per la biodiversità acquatica. Quando questi nutrienti fluiscono dalla produzione zootecnica terrestre a laghi, fiumi e acque costiere, l'aumento dei carichi di nutrienti nell'acqua provoca un aumento della presenza di specie di alghe e fioritura di erbe acquatiche. Alcune di queste creano competizione e sono dannose per altre specie autoctone di alghe. Inoltre, la loro

senescenza e decomposizione causano carenza di ossigeno (ipossia) e possono anche rilasciare tossine dannose per varie specie acquatiche (Carpenter et al., 1998).

Un'altra conseguenza dell'accumulo di nutrienti nel suolo, causato principalmente dalla lisciviazione dei nitrati, è l'inquinamento delle acque sotterranee. Inoltre, l'elevato quantitativo di azoto a livello del suolo può determinare cambiamenti nella composizione della vegetazione naturale, che può stimolare lo sviluppo di specie nitrofile e rischio di riduzione della biodiversità (Stefanon et al., 2018).

Per quanto riguarda l'azoto, il suo arricchimento del suolo non è causato solo dalla quantità di fertilizzanti utilizzati per unità di superficie agricola ma, anche: dalla sua forma (organico o inorganico, letame o liquido), delle modalità con cui viene posizionata sul terreno, le condizioni pedoclimatiche, dalle modalità e tempistiche dello stoccaggio ed eventuali trattamenti. Tutti questi fattori influenzano la capacità di assorbimento del nutriente da parte delle piante, influenza la sua volatilizzazione e la capacità del suolo di trattenere l'N. I fertilizzanti principalmente utilizzati apportano azoto sotto forma di urea ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ) la quale viene rapidamente idrolizzata ad ammoniaca ( $\text{NH}_3$ ), che è un composto molto volatile, e sotto forma di nitrati ( $\text{NO}_3^-$ ), che sono mobili nel terreno e soggetti a lisciviazione, nel caso non vengano utilizzati dalla cultura o se vengono distribuiti sul terreno in quantità eccessive. Nei rifiuti zootecnici, spesso utilizzati come ammendanti, l'azoto si trova sotto forma inorganica ed organica. La forma organica è composta da proteine, peptidi, acidi nucleici e aminoacidi, che tendono a

muoversi poco nel terreno e tendono a rilasciare azoto per mineralizzazione in tempi abbastanza lunghi con un rischio ridotto di perdite sia nell'aria che nei corpi idrici (Stefanon et al., 2018).

L'ammoniaca volatilizzata fornisce un forte contributo al fenomeno dell'eutrofizzazione perché, dopo essere salita in atmosfera, torna successivamente a depositarsi sui suoli. È coinvolta anche nel processo di acidificazione e in parte è causa del riscaldamento globale tramite l'emissione secondaria di ossido d'azoto ( $N_2O$ ).

I nitrati, soggetti al fenomeno della lisciviazione, penetrano nel terreno e successivamente in falda acquifera, principalmente a causa delle caratteristiche dei suoli. Si calcola che: in caso di terreni argillosi l'azoto complessivo fornito con la fertilizzazione dei campi, dal 10 al 40% si ritrova nelle acque sotterranee, mentre dal 25 all'80% nel caso dei terreni sabbiosi (Carpenter et al., 1998). È stato stimato che in Europa circa 1/3 dell'azoto applicato sui suoli agricoli, tramite fertilizzazione, viene perso nelle acque e nell'atmosfera, e non viene assorbito dalle piante.

Mentre l'azoto rappresenta il principale fattore limitante nella crescita di piante e alghe in acque salate, il fosforo è il fattore limitante della crescita nelle acque dolci, e può essere considerato il fattore più importante che influenza il fenomeno dell'eutrofizzazione di questi corpi idrici. Le principali fonti di P sono i fosfati presenti nei detersivi, nei fertilizzanti e le acque reflue, sia di origine urbana che industriale. L'erosione e lo scorrimento rappresentano le vie principali di contaminazione da parte del P delle acque ambientali, sia sotto forma solubile sia particolata. Mentre, fanno eccezione alcune aree della pianura padana, che sono

caratterizzate da elevata densità di bestiame dove si stimano perdite significative di fosforo anche per lisciviazione. In caso di una ridotta erosione del suolo, la parte più consistente dell'ingresso netto del P (fosforo in entrata meno fosforo rimosso con il raccolto), è trattenuta dal terreno, e ciò è considerato un vantaggio fintanto che migliora la fertilità del suolo senza contribuire all'eutrofizzazione (Stefanon et al., 2018).

#### 2.4.3. CONTRIBUTO DELLA ZOOTECNIA AL RILASCIO DI COMPOSTI EUTROFIZZANTI

Per valutare l'efficienza di utilizzazione dei nutrienti nelle attività agricole e il rischio di eutrofizzazione, si utilizza il bilancio dei nutrienti. Il bilancio dei nutrienti sul terreno viene calcolato come differenza tra tutti gli input e output di nutrienti che riguardano una superficie agricola. La differenza tra i flussi di elementi in ingresso e in uscita corrisponde alla quantità di nutrienti perduta. In un bilancio positivo si evidenzia una situazione in cui gli input superano le esigenze nutritive delle colture, con un rischio elevato di perdita di sostanze nutritive nell'ambiente e nelle falde acquifere. Gli input vengono calcolati sommando i nutrienti apportati dai fertilizzanti di sintesi, dai fertilizzanti organici, dai reflui zootecnici, dall'apporto di semi e/o piante e, nel caso dell'N, anche della sua fissazione biologica e dalla deposizione atmosferica. Nel caso specifico delle aziende zootecniche, la valutazione del bilancio di nutrienti deve essere allargata alla scala aziendale che comprende, oltre alla scala del campo, anche le produzioni animali. In questo caso, gli input devono considerare anche l'entrata di azoto e fosforo sotto forma di alimenti per il bestiame, animali acquistati e lettiere utilizzate, mentre, per quanto

riguarda gli output, devono tener conto anche delle produzioni animali, per esempio latte, eventuali reflui ceduti all'esterno e gli animali da produzione o da macello (Stefanon et al., 2018).

In generale il bilancio di nutrienti all'interno di un'azienda zootecnica intensiva risulta piuttosto elevato. Bassanino (2007) mostra come in azienda zootecnica della pianura padana il bilancio di N è compreso tra 104 e 186 Kg/ha (chilogrammi ettaro) all'anno, mentre lo studio di Guerci (2013), svolto in 41 stalle intensive di vacche da latte della Lombardia, ha registrato un surplus medio di N all'anno di  $539 \pm 256$  Kg/ha. Anche per quanto riguarda il bilancio di P nelle aziende zootecniche intensive della regione padana, sono stati evidenziati bilanci fortemente positivi con valori che si aggirano tra 82 e 112 Kg/ha. Per contro, in aziende zootecniche meno intensive del Mugello i bilanci di fosforo e azoto si mantengono su valori più contenuti di 56-136 Kg/ha/anno per l'azoto e 27-73 Kg/ha/anno per il fosforo (Giustini et al., 2007).



## 2.5. ACIDIFICAZIONE

### 2.5.1 DEFINIZIONE E ORIGINE

L'acidificazione naturale del suolo è un processo che avviene abbastanza lentamente ma può subire delle accelerazioni significative a causa dell'utilizzo di fertilizzanti di tipo chimico, ma soprattutto in seguito alle piogge acide che sono spesso conseguenza dell'aria inquinata. L'acidificazione indotta da sostanze chimiche, insieme ai loro prodotti di reazione, portano principalmente cambiamenti alla composizione chimica e all'abbassamento del PH del suolo e delle acque superficiali, con effetti devastanti sugli ecosistemi. Questo processo è innescato dall'immissione di gas in atmosfera come: gli ossidi di zolfo ( $\text{SO}_x$ ), biossido di zolfo e anidride solforosa, gli ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$ ), rappresentati da monossido e diossido di azoto, e infine l'ammoniaca ( $\text{NH}_3$ ). Queste molecole, una volta arrivate in atmosfera, possono depositarsi sul suolo a causa delle precipitazioni (deposizioni umide), oppure possono ricadere dall'atmosfera per effetto della forza di gravità (deposizioni secche). A partire da queste molecole, infatti, in presenza di acqua, sia al suolo che in atmosfera, si originano acidi, tra cui l'acido solforico e l'acido nitrico, che sono la causa principale del fenomeno dell'acidificazione. Uno dei tanti aspetti negativi dell'acidificazione antropica è che, tali inquinanti atmosferici, possono viaggiare per chilometri prima della loro deposizione, andando a provocare inquinamento e abbassamento di PH in suoli molto lontani dalla zona di produzione originale di questi gas (Stefanon et al., 2018).

L'inquinamento atmosferico di ossidi di zolfo, soprattutto di anidride solforosa, deriva principalmente dall'uso di combustibili contenenti zolfo, utilizzati

per la produzione di elettricità e nelle raffinerie, mentre le sorgenti naturali sono principalmente i vulcani. Gli ossidi di azoto vengono originati prevalentemente da processi di combustione ad alta temperatura le cui fonti sono i trasporti, la produzione di elettricità, calore e la combustione industriale.

Per quanto riguarda l'inquinamento atmosferico da ammoniaca, le sue emissioni derivano quasi totalmente dalla zootecnia e dalle attività agricole. Il contributo dell'agricoltura deriva essenzialmente dallo stoccaggio e dallo spandimento di reflui zootecnici e di fertilizzanti azotati. Per quanto riguarda la zootecnia, le perdite di ammoniaca, si verificano nelle strutture di stabulazione, durante lo stoccaggio dei reflui zootecnici ed eventuali trattamenti, e durante il pascolo del bestiame. Le emissioni di ammoniaca derivano dalla decomposizione dell'urea ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ) presente nei reflui zootecnici: l'idrolisi dell'urea è catalizzata dall'enzima ureasi, prodotto da microrganismi presenti nelle feci e nel terreno. L'entità delle emissioni di ammoniaca dipende da molti fattori: l'età, il peso, la dieta e la specie dell'animale, il sistema di stabulazione e la forma fisica del refluo oltre che alle tecniche di gestione, stoccaggio e spandimento degli stessi, ed infine, le condizioni e le caratteristiche del suolo e la sua temperatura nel momento dello spandimento (Stefanon et al., 2018).

Più in particolare, il settore agricolo è responsabile della produzione del 52-55% di tutte le emissioni antropogeniche di metano e della produzione dell'84% delle emissioni di protossido di azoto, la cui maggior parte delle quali deriva dal settore zootecnico. Sono state identificate sei principali fasi del settore zootecnico durante le quali si producono emissioni:

- la produzione e l'utilizzo di mangimi, che è responsabile di generare oltre l'80% delle polveri sottili (PM);
- l'allevamento, produttore principalmente di ammoniaca;
- lo stoccaggio di reflui zootecnici, letami e liquami;
- la tecnica utilizzata per lo spandimento dei reflui (una tecnica che sia eseguita con interrimento immediato può ridurre le emissioni fino all'80%);
- la distribuzione delle deiezioni zootecniche durante il pascolo;
- i trasporti (Zicari, 2015)

È stato stimato dalla FAO (2006) che gli allevamenti, nel pianeta, sono responsabili delle seguenti emissioni:

- il 9% delle emissioni di anidride carbonica totale;
- dal 35 al 40% delle emissioni di metano, che ha un effetto di 23 volte superiore a quello dell'anidride carbonica sul surriscaldamento del pianeta;
- il 64% delle emissioni di ammoniaca, gas coinvolto nel processo di acidificazione degli ecosistemi e nelle piogge acide;
- il 65% delle emissioni di ossido di azoto, un gas che ha un effetto 296 volte superiore a quello dell'anidride carbonica sul riscaldamento globale.

La produzione animale e di alimenti di origine animale genera una quota di gas clima-alteranti superiore a quella prodotta dal settore dei trasporti. Infatti, la FAO (2006) ha stimato che i trasporti generano il 14% delle emissioni di anidride carbonica globale, contro il 18% delle stesse emissioni globali generate dagli allevamenti.

#### 2.5.2. EMISSIONI DI AMMONIACA E PARTICOLATO

Le emissioni di ammoniaca e di particolato appartengono a una categoria di impatto che riguarda la tossicità. Questa categoria considera molti aspetti tra cui: l'impiego di sostanze che entrano indirettamente o direttamente nel processo produttivo e che indirettamente o direttamente possono influire la salute umana. Una sostanza può causare tossicità cronica o acuta, può essere cancerogena, teratogena o mutagena. Può concentrarsi su uno spazio limitato oppure può disperdersi nell'acqua e/o nell'aria. Oppure, una sostanza tossica, può esercitare un tipo di azione tossica o più di una come, per esempio, i solventi organici, i pesticidi e metalli pesanti. Un tema estremamente attuale è quello che riguarda il contributo del settore zootecnico alla qualità dell'aria, più in particolare, l'inquinamento da anidride solforosa (SO<sub>2</sub>), ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), composti volatili organici e ammoniaca (NH<sub>3</sub>) (Stefanon et al., 2018). Il fenomeno della volatilizzazione diretta dell'ammoniaca è associato all'età e all'utilizzo di fertilizzanti, sia sintetici che letame, e rappresenta una delle fonti più importanti di azoto. A causa della areazione e dell'invecchiamento del letame, la nitrificazione e la denitrificazione combinata di azoto ammoniacale porta alla produzione di ossido d'azoto. La

fertilizzazione, inoltre, stimola l'attività microbica del suolo, che a sua volta aumenta il rilascio di azoto in atmosfera (Vitousek et al., 1997).

Oltre ai suoi effetti dannosi diretti sull'ambiente, l'ammoniaca è un precursore dei particolati ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ ), che rappresentano una tra i principali determinanti di malattia (soprattutto di natura respiratoria) per l'uomo. L'agricoltura contribuisce per il 19% alla formazione del  $PM_{10}$  e per il 6% a quella delle  $PM_{2,5}$ . Infatti, a causa del grave inquinamento dell'aria, l'Italia è impegnata a ridurre le emissioni di ammoniaca e di particolato, promuovendo diversi provvedimenti sia a livello Europeo sia a livello nazionale e regionale. Nel settore zootecnico e agricolo, sono state individuate numerose strategie di mitigazione delle emissioni di ammoniaca, una delle principali consiste in una riduzione degli input di azoto nel ciclo produttivo, che si traduce in una riduzione dei consumi di alimenti proteici e di fertilizzanti di sintesi provenienti dall'esterno dell'azienda (Stefanon et al., 2018).

### 3. LA BIODIVERSITÀ

#### 3.1. DEFINIZIONE DI BIODIVERSITÀ

La biodiversità viene definita nell'articolo due della Convenzione sulla diversità biologica della CBD (*Convention on Biological Diversity*) (1992) come: “la variabilità tra gli organismi viventi derivanti da qualunque fonte ecologicamente complessa di cui fanno parte, comprese, *inter alia*, quelle terrestri, quelle marine e quelle di altri sistemi acquatici, considerando la diversità sia delle specie sia degli ecosistemi”. La biodiversità contiene in sé un gran numero di valori e ne apporta molti concreti che facilitano e rendono più sicura la vita. Gli ecosistemi ricchi di biodiversità sono ecosistemi più resilienti e possono perciò adattarsi meglio a future condizioni ambientali non prevedibili. Tuttavia, l'agricoltura e l'allevamento animale esercitano una forte pressione sulla biodiversità, specialmente se le attività umane collegate all'agricoltura e all'allevamento sono condotte in modo più specializzato, infatti, comportano modifiche pesanti agli habitat, con una riduzione della complessità degli ecosistemi e del numero di specie, sia animali che vegetali, che li compongono (Stefanon et al., 2018).

Il *Millennium Ecosystem Assessment* (2005), ha riconosciuto 5 principali fattori di perdita di biodiversità: cambiamenti climatici, cambiamento di habitat, inquinamento, sfruttamento eccessivo e specie invasive. Nel suo studio Stanfield (2006) ha dimostrato come allevamento zootecnico abbia contribuito direttamente o indirettamente a ciascuno di questi fattori. Tuttavia, non esiste ancora un quadro di indicatori per misurare la pressione del bestiame sulla biodiversità all'interno di questi contesti. I cinque principali motori della perdita di biodiversità, riconosciuti

dal *Millennium Ecosystem Assessment* (2005) sono descritti nei cerchi azzurri della Figura 1. Tuttavia, per la maggior parte di questi fattori, il bestiame può esercitare pressioni (nero) o fornire benefici (verde) alla biodiversità.

L'influenza della zootecnia sulla biodiversità non è solo negativa, ma esistono anche diversi tipi di benefici, in effetti, la pressione negativa e i benefici sono spesso due facce della stessa medaglia. Per quasi tutte le diverse categorie di pressione sulla biodiversità identificate nella Figura 13, esistono pratiche zootecniche rispettose dell'ambiente che possono portare a un beneficio corrispondente (Teillard et al., 2016).

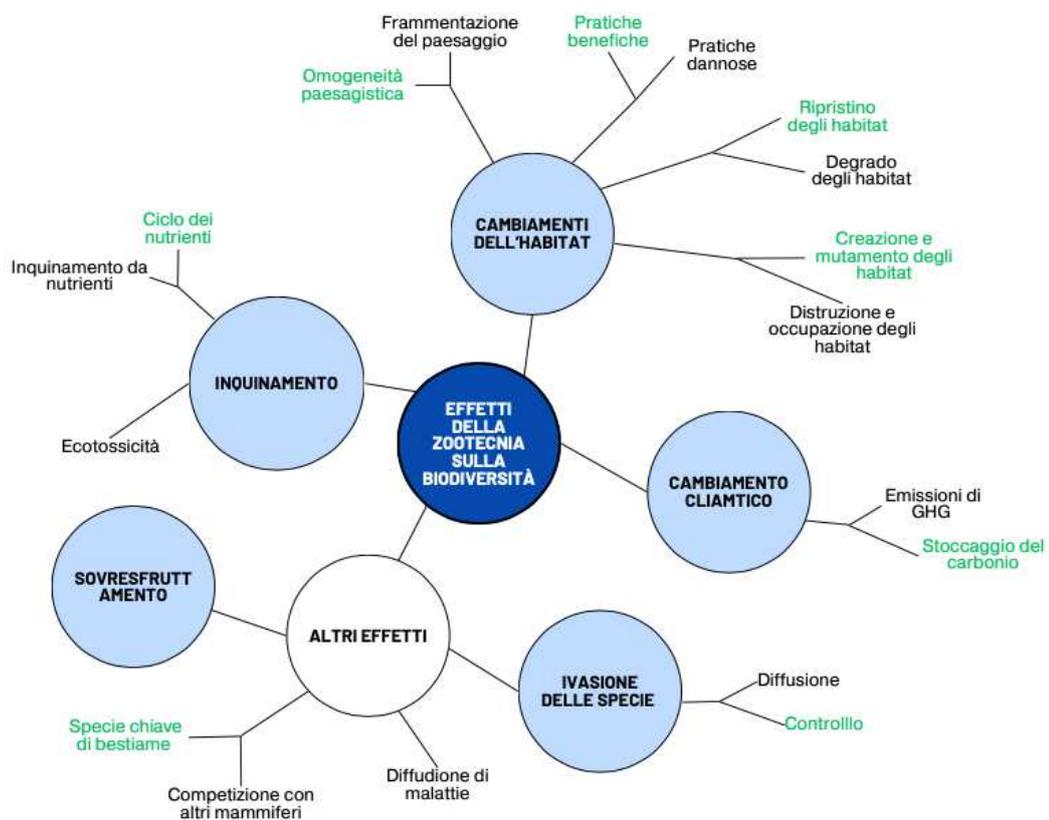


Figura 13. Panoramica delle categorie di influenze che il bestiame ha sulla biodiversità. (Gerber et al., 2013).

Circa il 30% della superficie terrestre è attualmente dedicato alla zootecnica di bestiame, il 25% viene sfruttato attraverso i pascoli e il restante 5% viene utilizzato per le culture e mangimi (Monfreda et al., 2008). Questa superficie viene modificata in modi sia positivi che negativi dalle produzioni zootecniche. Ad un estremo, gli habitat incontaminati possono essere modificati e distrutti, come avvenuto nell'Amazzonia Brasilia nella conversione della foresta amazzonica in pascoli o terreni per la coltivazione di mangimi (Lambin et al., 2003; Wassenaar et al., 2007; Nepstad et al., 2009). Il pascolo è il nuovo uso predominante delle terre di queste regioni che rappresenta l'85% di tutte le terre agricole. L'area totale deforestata era di 58,7 milioni di ettari nel 2000 (Kaimowitz et al., 2004). Principalmente è stata la coltivazione della soia il motore portante della deforestazione di massa in Brasile, principalmente a causa dell'aumento della domanda globale. I terreni per la produzione di soia sono più che raddoppiati tra il 1990 e il 2010. Sebbene la produzione zootecnica sia il principale motore della deforestazione dell'Amazzonia Brasiliana, anche la produzione di biocarburanti e l'industria del legname hanno fatto la loro parte (FAO, 2016).

All'altro estremo, in luoghi con una lunga storia di pascolo del bestiame e alpeggio, si è specificatamente adattata una biodiversità unica agli habitat associati alla presenza di bestiame. Infatti, quando la mandria è gestita in modo adeguato, assume il ruolo di erbivore selvatico e il pascolo modella la biodiversità in molti ecosistemi (Eriksson et al., 2002; Bond e Parr, 2010; Frank, 2005). In totale, i pascoli coprono il 70% dei terreni agricoli globali e la maggior parte delle aree disboscate (FAO, 2006). Tra i sistemi di produzione zootecnica, l'allevamento di ruminanti



alimentati con erba sono i principali utenti globali di pascolo e potenzialmente forniscono un contributo significativo alla deforestazione in tutto il mondo. I ruminanti sono in grado di digerire la cellulosa contenuta nell'erba, che è indigeribile alla maggior parte delle altre specie, e sono in grado di convertirla in carne e latte. Ciò consente di utilizzare vaste aree di pascolo, troppo sterili o troppo secche, per la coltivazione di culture. Tuttavia, la conversione alimentare dell'erba in carne bovina è un processo inefficiente, perciò la produzione di carne bovina al pascolo richiede una superficie terrestre maggiore rispetto agli alimenti prodotti per specie monogastriche come pollame o maiale. Tuttavia, in alcuni casi, i ruminanti nutriti con erba da pascolo sono l'unico modo per il mantenimento degli habitat seminaturali di fronte a due pressioni opposte: la conversione in terra arabile o abbandono, che porta alla conversione in foreste, che possono però entrambi provocare la perdita di biodiversità (FAO, 2016).

Gli allevatori possono anche aiutare a preservare la biodiversità attraverso il controllo e la gestione degli animali selvatici, la pulizia del campo da piante selvatiche e la prevenzione agli incendi. Ad esempio, in alcune zone dell'Islanda, luoghi dove il pascolo è recente e la vegetazione non è gestita adeguatamente, è stato notato che il pascolamento degli animali può essere fonte di erosione e degrado del suolo (Thórhallsdóttir et al., 2013).

La produzione zootecnica influenza la biodiversità oltre questi cambiamenti di habitat, come l'utilizzo della fertilizzazione e dei reflui zootecnici, che alterano significativamente i cicli dei nutrienti nel suolo che causano un importante inquinamento da azoto e fosforo. L'inquinamento di nutrienti ha un

grande impatto sugli ecosistemi acquatici, causando eutrofizzazione e acidificazione che modificano la struttura degli ecosistemi terrestri, delle terre coltivate, delle praterie e delle foreste (FAO, 2016).

La produzione di gas climalteranti legata all'allevamento rappresenta una quota significativa delle emissioni indotte dall'uomo, circa 14,5%. Queste emissioni sono attori principali nel cambiamento climatico, un'importante motore della perdita di biodiversità su scala globale. Tuttavia, è tutt'oggi complicato isolare e quantificare l'impatto delle emissioni di gas effetto serra legate al bestiame sulla biodiversità (MEA, 2005; Gerber et al., 2013)

Un fenomeno ben conosciuto nel campo della zootecnia, che ha a che fare con la perdita di biodiversità, è quello riguardante la riduzione del numero di razze autoctone allevate. Questa riduzione è causata dalla ricerca genetica dell'aumento della produttività e dell'efficienza, che ha portato all'utilizzo sempre maggiore di specifiche razze cosmopolite fortemente produttive. Nel caso specifico dei bovini da latte, su 20 razze con una più o meno spiccata attitudine alla produzione di latte, presenti sul territorio italiano da molti decenni, ad oggi solo sei hanno una popolazione che supera i 10.000 capi e solo tre hanno una diffusione veramente nazionale (Frisona Italiana, Bruna e Pezzata rossa italiana) (Stefanon et al., 2018).

### 3.1.1. L'IMPORTANZA DELLA BIODIVERSITÀ

La prima volta che fu riconosciuta la biodiversità come importante questione ambientale, fu durante la conferenza di Rio de Janeiro sull'ambiente e lo sviluppo del 1992. A Rio è stata aperta la strada alla rettifica della Convenzione sulla diversità biologica (CBD) del 2002, che ha visto 190 paesi concordare nel ridurre significativamente il tasso di perdita di biodiversità. Ora, il concetto essenziale di biodiversità è accettato in modo internazionale, non solo per il suo valore intrinseco, ma anche grazie del ruolo chiave che svolge nel supporto dei servizi ecosistemici a beneficio delle società e delle economie mondiali. La biodiversità è un elemento essenziale per il benessere umano grazie ai vari servizi ecosistemici che supporta (MEA, 2005). Questi servizi appartengono a quattro categorie principali:

- servizi di approvvigionamento (cibo, acqua, carburante, fibre, legno, medicine e risorse genetiche)
- servizi di supporto (ciclo dell'acqua e formazione del suolo)
- servizi di regolazione (clima ed erosione)
- servizi culturali

Inoltre, la biodiversità è alla base del funzionamento degli ecosistemi, vale a dire della loro capacità di sostenere tali servizi ecosistemici nel tempo (Loreau et al., 2001; Hooper et al., 2005; Classen et al., 2014).

In molti ecosistemi la biodiversità e il bestiame svolgono un ruolo fondamentale nella formazione del paesaggio. Il settore zootecnico è sia un utente

che un fornitore di biodiversità e servizi ecosistemici, e i principali comprendono: la produzione della biomassa (servizio di approvvigionamento), ciclo dei microrganismi, formazione del suolo, fissazione dell'azoto (servizio di supporto), impollinazione, controllo dei parassiti, recupero del clima e purificazione dell'acqua (servizi di regolazione) (Zhang et al., 2007, Huntsinger e Oviedo, 2014).

### 3.1.2. INDICATORI DI STATO

Gli indicatori di stato vengono utilizzati per descrivere la biodiversità, definita come la variabilità tra gli organismi viventi da tutte le fonti, tra cui: terrestri, sistemi marini, altri sistemi acquatici e complessi ecologici di cui fanno parte, compresa la diversità all'interno delle specie, tra specie ed ecosistemi diversi. Da questa definizione si può comprendere che la biodiversità si divide in più livelli di organizzazione, come rappresentato in Figura 14, che sono: geni, specie ed ecosistemi; ed è anche possibile descrivere livelli intermedi (Forman e Godron, 1981). La biodiversità, poi, comprende tre dimensioni: composizione, struttura e funzione, che si applicano ai vari livelli. La composizione della biodiversità è un inventario di caratteristiche, come l'abbondanza delle specie o la razza, la presenza di specie minacciate o l'estensione di habitat diversi. Invece, la struttura, è l'organizzazione di componenti della biodiversità e si può riferire al modello spaziale di una popolazione, paesaggi, ecosistemi o ad altri componenti della struttura (ad es. classi di età, densità dell'ecosistema e livello di fertilità della popolazione). Per ultima, la dimensione della funzione, fa riferimento ai processi che attraversano i livelli di biodiversità e i gruppi di specie che condividono la stessa funzione hanno

conseguenze a un livello più elevato dei processi (ad es. produzione di biomassa, decomposizione di materia organica, mineralizzazione dell'azoto).

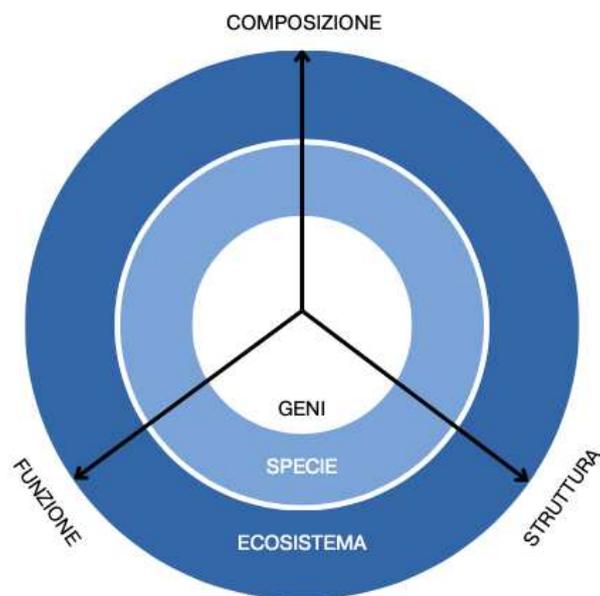


Figura 14. I tre livelli e le tre dimensioni della biodiversità. (Gerber et al., 2013).

Per quanto riguarda le diverse specie, la dimensione e la composizione dell'ecosistema può essere studiata attraverso indicatori quali: ricchezza, abbondanza e diversità. Il mantenimento della ricchezza dell'ecosistema su scala globale è molto importante, anche se il numero degli ecosistemi è limitato rispetto alla diversità delle specie. La biodiversità può essere meno rilevante su scala globale a livello di ecosistema perché la distribuzione degli ecosistemi è condizionata dalle condizioni climatiche. Nel caso degli animali d'allevamento, la dimensione

compositiva dell'ecosistema è stata descritta maggiormente come abbondanza, più nello specifico, come evoluzione dell'estensione dell'ecosistema nel tempo (FAO, 2016).

Uno degli indicatori principali definiti dal CBD 2006 (*Convention on Biological Diversity*) è la tendenza nella portata dei biomi, ecosistemi e habitat selezionati. Ad esempio: è possibile calcolare la variazione netta annuale dell'area forestale, che tra il 1990 e il 2005, in America Latina e Caraibi, è stata calcolata dal CBD (2006) circa del 4%. Un altro indicatore di stato a livello di ecosistema, che descrive direttamente l'estensione spaziale dell'ecosistema e descrive anche la pressione a livello di specie, è la responsabilità diretta o indiretta della produzione di bestiame nei confronti dello stato degli ecosistemi forestali, perché riflette la pressione di perdita dell'habitat sulla biodiversità. Vi sono anche altri indicatori di pressione, che corrispondono agli indicatori di stato a un livello più elevato di biodiversità: degrado dell'habitat, che potrebbe essere un indicatore di stato a livello di ecosistema, e la struttura del paesaggio, che potrebbe essere un indicatore di stato a livello del paesaggio (FAO, 2016).

### 3.1.3. IL VALORE DEGLI INDICATORI QUANTITATIVI

Per la valutazione dell'impatto ambientale delle attività zootecniche, sono necessarie delle strutture di valutazione ampiamente riconosciute per la valutazione del grado di biodiversità danneggiata/persa a causa della zootecnia, al fine di mitigarne gli impatti negativi. Tali strutture potrebbero anche favorire sinergie tra gli effetti positivi della zootecnia e il valore della biodiversità per il settore. I metodi di valutazione possono identificare i sistemi più efficienti e quelli che richiedono ancora miglioramenti, e aiutano a sviluppare politiche ambientali rivolte al settore zootecnico (Gill et al., 2010).

Ad oggi, la maggior parte delle valutazioni sulle prestazioni ambientali delle attività zootecniche, si concentrano sulle quantità di emissioni di gas ad effetto serra (GHG) prodotte. Si utilizza principalmente una vasta gamma di approcci per la valutazione del ciclo di vita (LCA- Life Cycle Assessment), in modo da fornire una valutazione completa dell'emissione di gas climalteranti associate ai diversi tipi di prodotti di origine animale (de Vries e de Boer 2010, Roma et al., 2015), tenendo conto di tutte le fasi di produzione, compresi: le materie prime per mangimi, la produzione animale e la gestione e l'utilizzo dei reflui. Come il metodo di valutazione LCA, le valutazioni quantitative hanno permesso di proporre sia politiche (Gerber et al., 2010; Steinfeld e Gerber, 2010), tecniche (Smith et al., 2008; Garnett, 2009) come pure opzioni per mitigare il contributo della zootecnia ai cambiamenti climatici.

La pressione della produzione animale sull'ambiente non si limita alle emissioni di gas effetto serra, ma influenza, sia positivamente che negativamente,

la biodiversità. La quantificazione della pressione zootecnica è fondamentale perché, le opzioni di mitigazione delle emissioni di gas effetto serra possono avere effetti diretti ed efficaci sul mantenimento della biodiversità. Ad esempio: un'opzione per mitigare le emissioni globali di GHG è quello di intensificare la produzione di bestiame solo nelle aree dove può essere fatto in modo efficace. L'intensificazione riduce le emissioni per unità di prodotto, ed evita ulteriori emissioni enteriche di CH<sub>4</sub> associate alla produzione per unità nei sistemi a base pascolativa (Eckard et al., 2010).

A livello globale ed Europeo, sono stati proposti indicatori di biodiversità riguardanti le componenti di pressione, stato e risposta, sia dalla Convenzione sulla biodiversità biologica (CBD, 2006) come pure dall'Agenzia Europea dell'ambiente (EEA, 2007). Anche se questi indicatori non si concentrano sulle pressioni agricole, potrebbero essere utilizzati per il contesto della produzione zootecnica. Altri studi, però, hanno sviluppato indicatori per l'agricoltura con un coinvolgimento ambientale più ampio nei confronti della biodiversità (OECD, 2001).



### 3.1.4. METODI DI STIMA DELL'IMPATTO AMBIENTALE

Uno tra i diversi metodi di stima dell'impatto ambientale, più utilizzato negli ultimi anni, è il metodo LCA, che ha la caratteristica di valutare in modo olistico i potenziali impatti ambientali associati ad un prodotto, processo o servizio, lungo tutte le fasi di produzione (Garnett, 2009). Questa valutazione si estende dall'acquisizione delle materie prime, attraverso la fabbricazione e l'utilizzo, fino al trattamento di fine vita del prodotto, eventualmente riciclato o smaltito, in un approccio cosiddetto "*from cradle to grave*", cioè dalla culla alla tomba (Stefanon et al., 2018). Inoltre, il metodo di stima LCA offre anche un modo per identificare i vari metodi per ridurre gli impatti ambientali e trovare altre fasi del sistema produttivo che potrebbero essere interessate a potenziali impatti ambientali (Garnett, 2009).

Le valutazioni LCA, secondo ISO (ISO, 2006), comprendono quattro passaggi fondamentali: definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione, analisi dell'inventario, valutazione degli impatti e interpretazione.

#### 1. La definizione dell'obiettivo ed il campo di applicazione

Il primo punto da definire, in una valutazione LCA, è la descrizione dell'obiettivo e della portata, che include la definizione degli obiettivi dello studio e la definizione dei confini dei sistemi. Per garantire un'adeguata ampiezza, profondità e dettaglio dello studio, dovrebbe essere sufficientemente ben definito l'ambito di applicazione dello studio, per raggiungere l'obiettivo dichiarato (Teillard et al., 2016).

In generale, l'analisi LCA può essere classificata in due ampie categorie: la prima, la tipologia *attributional* LCA, che ha come obiettivo quello di descrivere in modo approfondito l'impatto ambientale di un prodotto mantenendo le sue condizioni attuali. La seconda categoria, invece, il *consequential* LCA, che si occupa di descrivere quanto cambierebbe l'impatto ambientale di un prodotto in risposta a variazioni dei fattori interni ed esterni al sistema. Questo avviene soprattutto attraverso la considerazione, sia del sistema di studio, ma anche dei sistemi correlati in termini di impatti ambientali evitati, che vanno sottratti al contributo ambientale del prodotto di studio. Quando viene definito l'obiettivo di studio è essenziale definire anche il campo di applicazione, che include la scelta dei limiti del sistema, cioè da dove parte e dove finisce la valutazione dell'impatto ambientale, ovvero, dalla culla alla tomba, dalla culla al cancello aziendale, dalla culla al consumatore. In sostanza, i confini del sistema definiscono l'insieme dei processi che fanno parte di un prodotto (Stefanon et al., 2018).

## 2. Analisi dell'inventario

Questa seconda fase prevede la raccolta e il calcolo di dati per la quantificazione di input e output relativi a tutti i processi lungo il ciclo di vita del prodotto (*Life cycle inventory* - LCI);

### 3. Valutazione degli impatti

La terza fase della valutazione si definisce come “*Life cycle impact assessment- LCIA*”, ovvero, l'impatto del ciclo di vita vero e proprio. Lo scopo di questa terza fase è la comprensione e la valutazione dell'ampiezza e dell'importanza di potenziali impatti ambientali di un sistema di prodotto nel corso del suo ciclo di vita (Stefanon et al., 2018).

Per fare ciò, i risultati ottenuti durante la seconda fase vengono convertiti in potenziali impatti sull'ambiente, chiamati modelli di caratterizzazione, che riflettono il meccanismo ambientale descrivendo la relazione tra i risultati LCI e gli impatti ambientali (Figura 15). Vengono quindi utilizzati modelli di caratterizzazione per ricavare i cosiddetti “fattori di caratterizzazione”, che sono valori utilizzati per convertire le emissioni e le risorse naturali in unità di impatto comuni per renderle comparabili. Gli impatti possono essere identificati lungo tutta la catena causa-effetto ambientale, a livello di punto medio o di punto finale. Tutte le categorie di impatto presenti nel punto medio possono essere definite come un approccio orientato al problema che traduce l'impatto in termini ambientali come: il riscaldamento globale, lo sfruttamento delle terre, l'acidificazione, l'eutrofizzazione e la tossicità. Le categorie di impatto, invece, del punto finale, forniscono un approccio orientato al danno, come la perdita di biodiversità, salute umana, ambiente naturale e risorse naturali (ISO, 2006b).

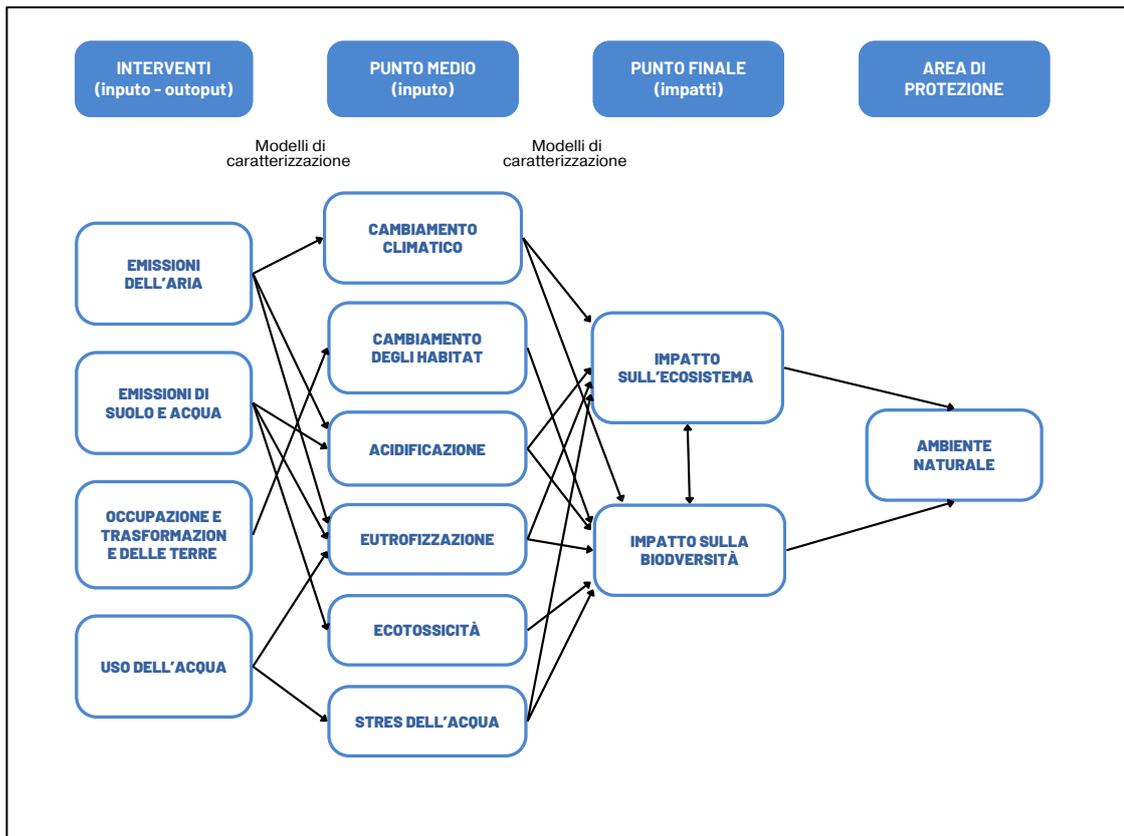


Figura 15. Rappresentazione schematica del percorso del meccanismo ambientale (catena causa-effetto), dall'inventario del ciclo di vita (ad es. Occupazione e trasformazione della terra) al punto medio (ad es. distruzione dell'habitat) e agli endpoint (ad es. perdita di specie o perdita funzionale) (Teillard et al., 2016).

#### 4. Interpretazione

L'obiettivo dell'utilizzo del modello di valutazione del ciclo di vita di un prodotto è quello di definire i punti medi, studiando le categorie dei punti finali corrispondenti alle aree a rischio, che costituiscono la base di discussione in materia politica e sviluppo sostenibile (Teillard et al., 2016). In quest'ultima fase interpretativa, i risultati LCI o LCIA, o entrambi, vengono studiati e discussi,

seguendo la definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione per arrivare a conclusioni, possibili raccomandazioni e decisioni (Stefanon et al., 2018).

La valutazione del ciclo di vita di un prodotto o di un processo, e del suo impatto ambientale, deve necessariamente sempre essere espressa in riferimento ad un'unità funzionale (*Functional Unit*- UF). Lo scopo principale di UF è quello di fornire un punto di riferimento in base al quale poter esprimere i risultati di impatto ambientale della produzione di un bene, utilizzando le categorie di impatto più idonee. L'utilizzo dell'unità funzionale più adeguata consente di comparare i risultati degli studi LCA, il quale è un processo particolarmente critico quando si valutano sistemi produttivi differenti. In ambito zootecnico, le unità funzionali possono essere, per esempio: una quantità in peso, come un Kg di prodotto, una porzione o un Kg di proteine contenute nel prodotto, oppure può essere utilizzata un'unità come l'ettaro o unità di bovino adulto. Un altro aspetto metodologico molto importante di questi studi, soprattutto in ambito zootecnico, è la scelta del metodo di allocazione più adeguato, che viene definita da Stefanon (2018) come: "la ripartizione dei flussi in ingresso e in uscita di un processo unitario o di un sistema di prodotto tra il sistema di prodotto dello studio e uno o diversi prodotti o sottoprodotti". Questo perché, in ambito zootecnico, si possono considerare processi che producono più di un bene, e la scelta del metodo di allocazione serve per non attribuire tutto il peso ambientale a uno solo dei due prodotti (Stefanon et al., 2018).

Nel mondo zootecnico la valutazione LCA è una metodologia molto utile perché dà la possibilità di valutare, nel loro insieme, l'impatto ambientale di processi produttivi complessi che possono comprendere diversi comparti, come per esempio: la gestione della stalla e della mungitura, l'acquisto di materiali, alimenti e animali e la produzione di alimenti in azienda. È molto utile anche per l'individuazione di punti critici, le fasi del processo che hanno maggiore impatto sull'ambiente. LCA risulta interessante al fine di adeguare le scelte gestionali in un'ottica di minor impatto ambientale. Infine, è possibile effettuare una comparazione di diversi processi produttivi, oppure, processi simili caratterizzati da scelte di gestione differenti. Stefanon (2018) afferma che: “il metodo LCA in ambito zootecnico è un utile strumento di supporto alle decisioni, sia a livello di singola azienda sia a livello di areale, oltre che di supporto alle politiche ambientali”.

### 3.1.4.1. APPLICAZIONE DEL METODO LCA NELLE SPECIE ZOOTECNICHE

#### Ruminanti

Il metodo LCA è stato utilizzato, a partire dagli anni Novanta, per la valutazione dell'impatto ambientale delle produzioni zootecniche. I primi studi sono stati svolti principalmente in Nord Europa su bovini da latte (Cederberg e Mattsson, 2000; Haas et al., 2001; De Boer, 2003). In questi studi veniva utilizzato il metodo LCA per confrontare i differenti sistemi produttivi: biologico e convenzionale, intensivo ed estensivo. I confini del sistema in questi studi si fermavano in gran parte dei casi al cancello dell'azienda zootecnica (*cradle to farm gate*), e partivano dalla produzione degli input. Questo perché, l'impatto ambientale della fase di stalla solitamente copre intorno al 75% dell'impatto totale di un litro di latte prodotto (Guerci et al., 2013).

Analogamente, per gli studi che si concentravano sul comparto carne, il confine del sistema si poteva fermare "al cancello aziendale" oppure, poteva comprendere anche il processo di macellazione. In questi primi studi, il metodo di allocazione più utilizzato era quello economico, per entrambe le produzioni, latte e carne, e anche nel caso degli alimenti zootecnici che derivano da sottoprodotti del settore, come la farina di estrazione di soia. Nel caso dei reflui prodotti da un'azienda zootecnica, questi non vengono, nella maggioranza dei casi, considerati un sottoprodotto, essendo difficili da valutarne il valore economico. Piuttosto si considera il risparmio di risorse naturali delle aziende che utilizzano i reflui in eccesso (Pirlo et al., 2014; Pirlo et al., 2016).

Un'altra tipologia di allocazione è quella denominata "*system expansion*", secondo la quale possono venire considerati più sistemi produttivi, oppure un sistema amplificato. Questo tipo di allocazione viene fatta negli studi di *consequential* LCA. Un esempio di questo è stato fatto da alcuni ricercatori che hanno considerato i servizi apportati dalla zootecnia estensiva al territorio, anche chiamati servizi ecosistemici (mantenimento dei pascoli, della qualità e fruibilità del paesaggio). Anche in questo caso viene utilizzata una allocazione economica, in cui vengono considerati anche questi servizi e, di conseguenza, il peso ambientale che ricade sulla produzione di latte si abbassa (Kiefer et al., 2015; Salvador et al., 2016).

Per quanto riguarda gli animali che non sono nati in allevamento, come manze da rimonta acquistate in altre aziende, è necessario, durante una valutazione LCA, valutare la prima parte della loro vita considerando le emissioni e i consumi di risorse nella stalla di origine prendono anche in considerazione i trasporti. Questo vale anche per i ristalli, ovvero quelle situazioni nelle quali, dopo una prima fase di allevamento, gli animali vengono spostati in centri intensivi a ciclo aperto dove verranno ingrassati e portati al peso di macellazione (Stefanon et al., 2018).

Alcuni studi tengono anche conto dell'ingestione individuale e delle caratteristiche delle razioni che influenzano fortemente l'emissione di CH<sub>4</sub>, poiché l'allevamento dei ruminanti produce grandi quantità di gas effetto serra (in particolare il CH<sub>4</sub> enterico). In generale, le categorie di impatto ambientale che vengono considerate negli studi dell'impatto ambientale della produzione di carne e latte bovino sono: effetto serra, acidificazione, eutrofizzazione, uso dell'energia e uso del suolo. (Stefanon et al., 2018).



Negli studi rivolti alla stima dell'impatto ambientale della produzione di latte, l'unità funzionale utilizzata è il Kg di latte corretto per grasso e proteine (Fpcm: *fat and protein corrected milk*), che viene definita secondo la formula proposta dall'Idf ovvero *Inverse Document Frequency* (2015). Nel caso gli studi che confrontano l'impatto ambientale della produzione di latte ottenuto con metodo biologica confrontato con una produzione di tipo convenzionale, si adotta spesso l'unità funzionale aggiuntiva, l'ettaro di superficie agricola insieme al Kg di Fpcm o *Energy corrected milk* (Ecm).

Invece, negli studi della valutazione dell'impatto ambientale della produzione di carne, l'unità funzionale utilizzata è il Kg di peso vivo, quando la valutazione si ferma al cancello aziendale, mentre si considera il Kg di carcassa se la valutazione comprende anche la fase di macellazione. Può essere anche utilizzato, in questo tipo di valutazioni, il Kg di incremento ponderale giornaliero, dove viene considerata solo la fase di ingrasso degli animali, poiché permette di evidenziare meglio le prestazioni del sistema produttivo ed evita le incertezze delle fasi a monte. (Stefanon et al., 2018).

## Monogastrici

Negli ultimi anni, la valutazione LCA, sull'allevamento dei monogastrici per la produzione di carne, ha avuto la finalità non solo di quantificare l'impatto della produzione, ma anche di identificare i punti critici e le potenzialità, considerato che, nell'allevamento dei monogastrici, vengono utilizzati alimenti con un elevato costo ambientale, come i derivati della soia, che implicano un impatto ambientale legato all'uso delle terre, al trasporto e alla produzione (Stefanon et al., 2018).

Sono stati svolti molti studi a livello internazionale per la quantificazione dell'impatto ambientale della produzione di carne suina ma, i confini del sistema si fermavano alla produzione di 90-120 kg di peso vivo, dato che la principale destinazione del suino all'estero è il consumo fresco (Basset-Mens e van der Werf, 2005; Dourmad et al., 2014; Mackenzie et al., 2015). A differenza, studi italiani valutano l'impatto ambientale del suino pesante con un peso maggiore di 160 kg, e dove non è stato utilizzato nessun tipo di allocazione, poiché l'unico prodotto che usciva dall'azienda era il suino stesso (Bava et al., 2017).

Sia per la valutazione dell'impatto ambientale della produzione avicola, che per quella suinicola, è importante considerare tutte le fasi di vita dell'animale, anche quelle che si svolgono al di fuori del centro aziendale, come nel caso dell'allevamento suinicolo a ciclo aperto o l'allevamento dei parentali nel sistema avicolo. Anche durante queste fasi, in una valutazione LCA, bisogna considerare gli alimenti utilizzati, le spese energetiche, le spese di trasporto e le emissioni degli animali (Stefanon et al., 2018).

### 3.1.4.2. RISULTATI DI VALUTAZIONI LCA IN ALCUNE FILIERE ZOOTECNICHE

#### Produzione di latte

La valutazione dell'impatto ambientale con metodo LCA è stata utilizzata per molti studi effettuati sulla produzione di latte bovino. Questa filiera zootecnica è stata oggetto di molti studi per la valutazione del potenziale di riscaldamento globale, utilizzando come unità funzionale il Kg Fpcm e con limite il cancello aziendale. Valutando diversi studi, sia internazionali che italiani, gli studi italiani si collocano su valori intermedi rispetto alle stime internazionali (Stefanon et al., 2018).

Nello studio condotto da Guerci (2013), su 41 aziende da latte intensive del Nord Italia, più nello specifico nella valle del Po, le emissioni totali di GHG per Kg di Fpcm, al cancello aziendale, sono state pari al 77% ( $1,30 \pm 0,19$  Kg di CO<sub>2</sub>-eq). I componenti principali dell'impatto dei cambiamenti climatici, come evidenziato in Grafico 2 sono stati: emissioni da fienili, stoccaggio e movimentazione del letame (50,1%) ed emissioni per la produzione e il trasporto di mangimi concentrati (21,2%). Il contributo al potenziale di cambiamento climatico dei tre gas a effetto serra considerati è stato in media del 59% per CH<sub>4</sub>, 35,6% per CO<sub>2</sub> e 19,7% per N<sub>2</sub>O.

Invece, le emissioni medie di gas acidificanti per produrre un Kg di Fpcm sono state valutate in  $19,7 \pm 3,6$ g di SO<sub>2</sub>-eq. Questo risultato è dovuto principalmente alla produzione di gas a livello di azienda (84,3%). In particolare, i principali contribuenti sono le emissioni dei fienili, lo stoccaggio e la manipolazione del letame (45,9%) e le emissioni per la produzione di mangimi in azienda (35,2%),.

Il potenziale di acidificazione era principalmente dovuto all'emissione di ammoniaca nell'aria ( $90,4 \pm 1,74\%$ ).

Il potenziale di eutrofizzazione è stato valutato in  $9,01 \pm 1,78$  g PO<sub>4</sub>-eq, dovuto principalmente dalle attività agricole (78%). In particolare, come mostrato in Grafico 2, era principalmente dovuto all'applicazione di fertilizzanti artificiali e letame per la produzione di mangimi in azienda (50,7%) e dall'emissione di ammoniaca dai fienili, durante lo stoccaggio e la manipolazione del letame (22,4%). In base a ciò, il principale contributo all'eutrofizzazione è stato attribuito alla lisciviazione dei nitrati ( $43,8 \pm 5,63\%$ ) e all'emissione aerea di acqua e ammoniaca ( $43,7 \pm 4,23\%$ ). Il bilancio di azoto a livello di azienda agricola, come differenza tra input e output, ha identificato un avanzo medio di  $539 \pm 256$  kg N / ha.

Il consumo di energia da fonti non rinnovabili è stato valutato in  $5,97 \pm 1,32$  MJ, dovuto principalmente alle attività fuori dall'azienda (58%). I principali componenti dell'impatto dell'uso di energia (Grafico 2) sono stati: produzione e trasporto di mangimi (38,9%), consumo di energia in azienda (20,5%) e produzione di mangimi in azienda (16%).

Per quanto riguarda l'uso del suolo, è stato stimato pari a  $1,51 \pm 0,25$  m<sup>2</sup>. I componenti di impatto sull'uso del suolo (Grafico 2) erano: uso del suolo per la produzione di mangimi in azienda (40%), uso del suolo per la produzione di mangimi acquistati (34,9% concentrato e 18,8% foraggi) e uso del suolo per la produzione di energia fuori azienda (6,4%).

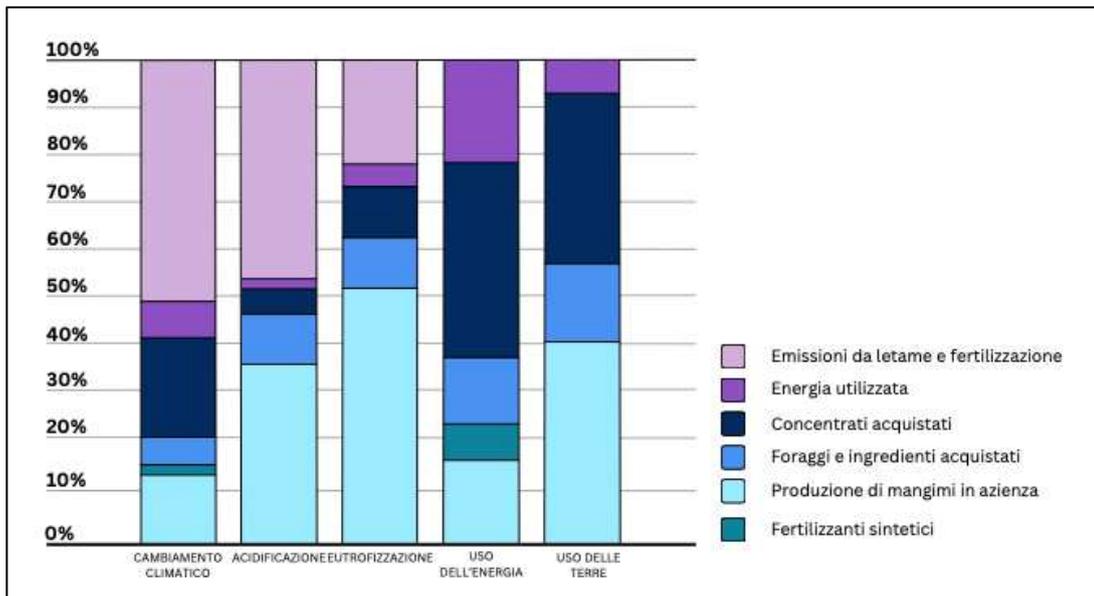


Grafico 2. Contributo percentuale di input e attività su categorie di impatto.

(Guerci et al., 2013)

Nello studio è stato proposto che, per mitigare l'impatto ambientale per un Kg di latte, in particolare riguardante la produzione di gas serra e l'utilizzo di energia non rinnovabili, è necessario un'alta efficienza di conversione degli alimenti e dell'azoto alimentare in particolare (Guerci, 2013).

Analoghi risultati sono stati ottenuti da un altro studio italiano di Bava (2014), condotto su 28 aziende del Nord Italia, caratterizzate da differenti gradi di intensificazione di produzione. In questo studio l'analisi statistica mostra come la produzione di latte per capo, l'efficienza di utilizzazione degli alimenti per la produzione di latte e il carico di animali per ettaro, risultino negativamente correlati agli impatti ambientali per Kg di prodotto. È stato dimostrato come il latte prodotto in sistemi estensivi e pascoli alpini presenta potenziali di impatto ambientale più

elevati rispetto al latte ottenuto nei sistemi intensivi di pianura. Gli autori sostengono che dipende dalle minori produzioni medie degli animali, dalla minore efficienza di conversione alimentare e da una minore efficienza complessiva dell'impiego delle risorse a livello aziendale (Bava, 2014).

Se si confrontano le emissioni di GHG stimate in aziende da latte in area alpina da Guerci (2014), e quelle stimate nello studio di Bava (2014), il latte prodotto in area alpina produce una quantità di gas climalteranti maggiore rispetto al latte prodotto in pianura: 1,55 e 1,72Kg CO<sub>2</sub>-eq per Kg Fpcm, rispettivamente.

L'analisi svolta nello studio di Guerci (2014) ha mostrato che la produzione per capo e l'efficienza di conversione alimentare, sono positivamente correlate, ed entrambe sono negativamente correlate con il potere di riscaldamento globale del latte.

Un effetto negativo sulla sostenibilità ambientale, in termini di emissioni di gas serra, invece, sembra svolto dal pascolo estensivo in alpeggio, probabilmente dovuto alla scarsa produzione di latte per vacca e nella bassa efficienza di conversione alimentare. Tuttavia, se viene considerato nel calcolo LCA il valore per la coltivazione della soia, allora il pascolo in alpeggio assume un fattore positivo in considerazione della scarsa utilizzazione di soia per un Kg di latte prodotto durante il periodo di alpeggio. Possiamo anche considerare, che il pascolo in alpeggio estensivo ha molteplici effetti benefici sull'ambiente (biodiversità, la conservazione del suolo, qualità del paesaggio), che andrebbero prese in considerazione nella valutazione come servizi ecosistemici (Battaglini et al., 2014).

Per quanto riguarda il confronto tra aziende convenzionali e aziende che seguono il metodo biologico, emergono valutazioni interessanti. In gran parte degli studi, il metodo convenzionale sembra produrre minori quantità di emissioni di gas effetto serra per Kg di latte prodotto, grazie alla maggiore produzione per capo e alla migliore efficienza di conversione alimentare legata a razioni più digeribili (Stefanon et al., 2018).

Tuttavia, nello studio di De Boer (2003), si evidenzia che il latte ottenuto secondo metodo biologico ha in generale un minore potenziale di eutrofizzazione rispetto a quello convenzionale, e presenta analoghi potenziali di riscaldamento globale e acidificazione a quello tradizionale. Boer, nel suo studio, sostiene che il metodo biologico tende a ridurre il rilascio di CO<sub>2</sub> e di N<sub>2</sub>O per il minor impiego di combustibili, tuttavia, risulta che il rilascio di CH<sub>4</sub> per Kg di latte prodotto, risulta superiore a causa del maggior contenuto di fibre nella razione e alla minore produzione di latte. Per quanto riguarda il consumo del suolo, invece, risulta superiore con il metodo biologico rispetto al convenzionale, a causa delle minori produzioni vegetali ottenibili con la coltivazione biologica. Risultati analoghi allo studio di Boer (2003), sono stati riportati da Thomassen (2008) in uno studio svolto tra aziende biologiche e convenzionali olandesi.

## Produzione di carne

Per quanto riguarda la valutazione dell'impatto ambientale della produzione di carne, gli studi non sono numerosi e sono spesso limitati alla stima del potenziale di riscaldamento globale. La valutazione viene effettuata al cancello aziendale su Kg di peso vivo prodotto, mentre per alcune valutazioni, viene anche inclusa la fase di macellazione. Nella valutazione LCA per produzione di carne, i dati sono molto variabili rispetto a quella che si riscontra per la produzione di latte, soprattutto per la differenza di specie, tra ruminanti e monogastrici, ma anche per la notevole variabilità di sistemi di allevamento, soprattutto per i ruminanti. In genere, la produzione di carne di ruminanti risulta molto più impattante rispetto a quella da animali monogastrici, come mostrato in Grafico 3, soprattutto a causa dell'indice di conversione alimentare molto meno favorevole e delle emissioni enterica di CH<sub>4</sub> (Stefanon et al., 2018).

Per la produzione italiana di carne bovina, i sistemi estensivi risultano più impattanti dei sistemi intensivi, e l'allevamento a ciclo chiuso con linea vacca-vitello, risultano più impattante di quelli a ciclo aperto con fase in grasso separata dalla fase di riproduzione. In particolare, la fase di ingrasso si basa sull'utilizzo di razioni molto ricche di amidi e povere di foraggi che consentono un maggiore indice di conversione alimentare limitando anche la produzione di CH<sub>4</sub> enterico. Questo tipo di razioni consentono di contenere il potenziale di riscaldamento globale della produzione di Kg di carne bovina ma, di fatto, rendono il ruminante un competitore diretto dell'uomo per l'utilizzo delle risorse alimentari e delle superficie agricole, analogamente a quanto avviene per i monogastrici.



Tra le produzioni di carne bovina, quella derivante da bovine da latte a fine carriera, risulta anche la meno impattante, in quanto benefica dell'allocazione degli impatti tra latte e carne (Stefanon et al., 2018).

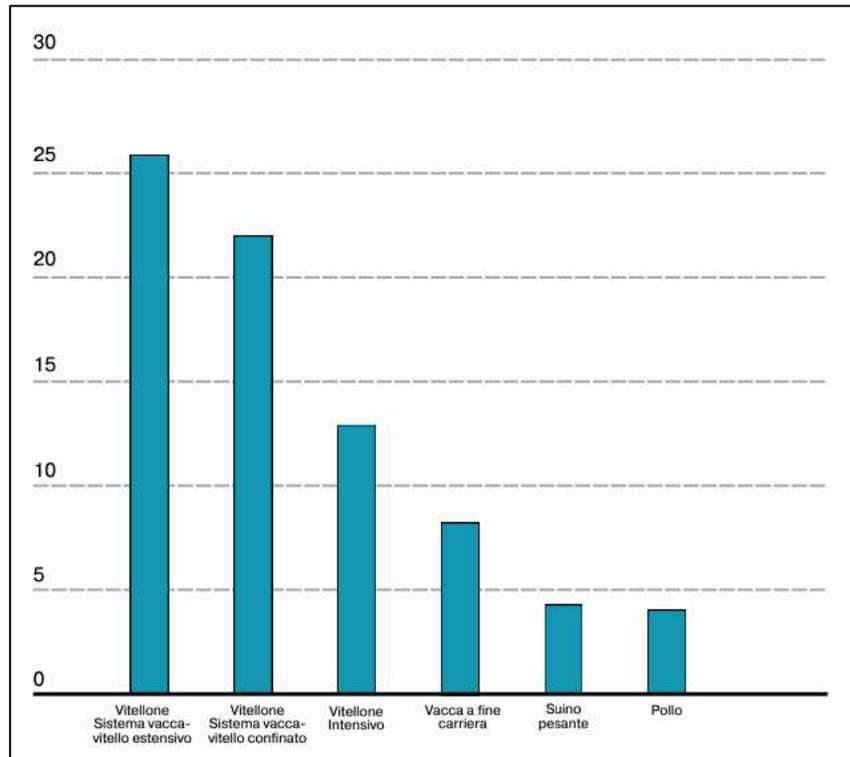


Grafico 3. potenziale di riscaldamento globale della produzione di carne di diverse specie in Italia con diversi sistemi produttivi (Stefanon et al., 2018).

Per quanto riguarda la produzione di carne da suino e pollo in particolare, le produzioni italiane presentano un potenziale di impatto ambientale mediamente superiore a quelli riportati dalla letteratura internazionale (Bava et al., 2017; Cesari et al., 2017). Questo dipende soprattutto dal fatto che il mercato italiano richiede carcasse più pesanti rispetto agli altri mercati, e la prolungata fase di ingrasso si

ripercuote direttamente sugli indici di conversione alimentare che peggiorano, e di conseguenza sui potenziali di impatto per Kg di prodotto (Stefanon et al., 2018).

### 3.2. CONSUMI IDRICI DEI SISTEMI ZOOTECNICI

Annualmente la quantità di acqua che arriva sulle terre emerse attraverso le precipitazioni è stimata in 110.000 km<sup>3</sup> (Molden, 2007), di questa i 2/3 ritornano nell'atmosfera grazie all'evaporazione del suolo e l'evapotraspirazione dei sistemi vegetali (foreste, pascoli e culture). I restanti 40.000 km<sup>3</sup> alimentano i corsi d'acqua superficiali, fiumi e laghi, e i corsi d'acqua sotterranei, come le falde acquifere, costituendo le risorse idriche rinnovabili. Una parte del flusso di queste risorse idriche viene interrotta da infrastrutture e resa disponibile per la collettività. Il prelievo complessivo (agricoltura, industria e consumi urbani) si è evoluto dall'inizio del ventesimo secolo con 600 km<sup>3</sup>/anno, a circa 1.350 km<sup>3</sup>/anno a metà del 1900, fino a più di 3.800 km<sup>3</sup>/anno all'inizio del ventunesimo secolo (FAO, 2013).

Tra le varie attività, l'agricoltura è responsabile del maggior consumo idrico, e attualmente la produzione di elementi utilizza un volume pari a 3.100 km<sup>3</sup>/anno di acqua, che corrispondono circa al 70% dei consumi idrici complessivi del pianeta. L'aumento della domanda alimentare, la conseguente crescita demografica e il cambiamento degli stili di alimentazione, con un aumento dei consumi di proteine di origine animale, porterà a una dilatazione notevole dell'uso dell'acqua per l'irrigazione: si calcola infatti che nel 2050 saranno necessari

complessivamente circa 13.050 km<sup>3</sup> di acqua (De Fraiture et al., 2007; Pulina et al., 2011). La crescente domanda alimentare, in futuro, porterà ad un aumento della competizione tra le differenti attività produttive, sia per l'utilizzo dei suoli ma soprattutto per l'utilizzo delle risorse idriche. Vanham (2013) sostiene che la crescente richiesta alimentare e il conseguente esaurimento delle disponibilità idriche, soprattutto per soddisfare le produzioni destinate all'esportazione, saranno considerati fra le principali cause dei cambiamenti climatici e di altri effetti ambientali a livello globale.

Durante la conferenza delle Nazioni Unite di Rio del 2012 sullo sviluppo sostenibile, si è discusso su come ridurre la pressione agricola sull'utilizzo dell'acqua, rappresentando questa una sfida che l'umanità dovrà affrontare nei prossimi anni. I rappresentanti delle Nazioni che hanno partecipato alla conferenza di Rio hanno ribadito la necessità di promuovere e valorizzare, oltre che incentivare, un'agricoltura più sostenibile che favorisca sia una maggiore sicurezza alimentare, che sradichi la fame nel mondo e che sia economicamente sopportabile. Hanno sottolineato, inoltre, che i futuri sistemi agricoli dovranno soddisfare la crescente domanda alimentare ma, soprattutto, dovranno anche essere efficienti e ammissibili, con un basso impatto ambientale sulla salute dell'uomo, sulla qualità degli ecosistemi e sul depauperamento delle risorse (De Boer et al., 2013; Pretty, 2008; Godfray, 2010). A tal fine, è essenziale conoscere l'entità delle proprie risorse idriche disponibili, sia per sviluppare strategie nazionali al fine di valutare e pianificare una politica ambientale, ma anche per pianificare una politica ambientale rivolta alla sicurezza alimentare (Hoekstra e Mekonnen, 2012).

Uno dei metodi che viene utilizzato per la misurazione della sostenibilità dell'uso delle risorse idriche è l'indicatore dell'impronta idrica, convenzionalmente denominato *water footprint* (Wfp) (Stefanon et al., 2018).

### 3.2.1. CLASSIFICAZIONE DELL'ACQUA RISPETTO ALLA PROVENIENZA E USO

L'acqua è una risorsa fondamentale e necessaria a garantire la salute dei popoli e la salvaguardia dell'ecosistema. L'uomo utilizza principalmente l'acqua per dissetarsi, per l'approvvigionamento alimentare e la propria igiene (DeBoer et al., 2013), ma l'acqua è anche essenziale per il mantenimento della biodiversità e per il buon funzionamento dell'ecosistema attraverso il controllo climatico (Koehler, 2008).

In diverse aree del mondo, per i sistemi produttivi, il consumo dell'acqua è diventato insostenibile, in quanto il suo consumo è maggiore della possibilità di ricarica degli acquiferi (Pfister et al., 2009). Infatti, l'obiettivo globale della sostenibilità ambientale è quello di ottimizzare l'uso della risorsa acqua impiegata nell'agricoltura, colmando il divario produttivo tra i vari sistemi, attraverso processi di utilizzo sostenibili (Foley et al., 2011) applicabili anche alle filiere biologiche (Vanham et al., 2013b).

È stato proposto, nell'ambito della *Water Footprint network*, da parte di Hoekstra e Hung (2002), una destinazione generale del consumo delle risorse idriche:

- *Green water*: acqua proveniente dalle precipitazioni che è immagazzinata nello strato del suolo, a livello radicale, che è evaporata, incorporata o traspirata dalle piante. È una tipologia di acqua particolarmente rilevante per le produzioni agricole, orticole e forestali;
- *Blue water*: acqua proveniente dalle risorse idriche superficiali (laghi e fiumi), o sotterranee di falda che evaporata, incorporata in un prodotto, o prelevata da un corpo idrico, che ritorna nello stesso o in un altro corpo idrico, in un arco temporale diverso. I consumi urbani, l'industria e l'agricoltura concorrono al consumo della *blue water*;
- *Grey water*: acqua che è stata contaminata in un determinato processo produttivo o ai fini della produzione. Viene definita come la quantità di acqua (*flashwater* o acqua dolce), necessaria per la diluizione di inquinanti in essa contenuti e per riportarla agli standard di qualità. La *grey water* considera l'inquinamento delle acque dolci, direttamente dal punto di inquinamento, per esempio un tubo di scarico, oppure indirettamente attraverso scolo o fuoriuscita dal suolo.

### 3.2.2. WATER FOOTPRINT

A metà del secolo scorso, l'approccio convenzionale alle risorse idriche riguardava una singola operazione o un intero processo produttivo per stabilire il fabbisogno idrico. Questo approccio considerava la domanda di risorse idriche senza l'uso indiretto della risorsa a monte o a valle dello stesso processo (MacKichan, 1951).

Alla fine del ventesimo secolo Pimentel (1997) stimò, per la prima volta, i consumi di acqua riconducibili alle produzioni animali, attraverso il calcolo dell'acqua evapotraspirata dai pascoli, con riferimento ai quantitativi di erba realmente ingeriti dagli animali durante il pascolo. Negli anni 90, inoltre, fu introdotto il concetto di acqua virtuale, per tenere conto del fatto che il commercio di prodotti include il trasferimento di volumi virtuali di acqua che vengono poi consumati in diverse regioni del pianeta (Allan, 1996, 2003). Questo concetto fu poi rapidamente esteso alla definizione di acqua virtuale di un prodotto necessaria allo svolgimento di un processo produttivo (Chapagin e Hoekstra, 2003). In questo contesto nacque l'approccio *top-down*, precursore della definizione di *water footprint* (Legesse et al., 2017).

Hoekstra e Hung (2002) studiarono e iniziarono a introdurre il concetto di *water footprint* (Wfp), accompagnandolo con un'impronta ecologica (*ecological footprint*) che iniziava a essere utilizzato in letteratura scientifica in quanto indicatore della sostenibilità dell'attività umana. Grazie a ciò, il calcolo della Wfp assunse l'obiettivo di determinare il consumo diretto e indiretto dell'acqua, durante il processo produttivo di un bene o di un servizio, a carico del produttore o del

consumatore (Hoekstra e Hung, 2002). Lo stesso gruppo di ricerca sviluppò anche il metodo water footprint assessment, sviluppando il concetto di *green, blue e grey water*, impiegate durante l'intero ciclo di produzione di beni e servizi, che venne descritta nel manuale intitolato "*Global water footprint standard*" (Hoekstra et al., 2011). Grazie a questo approccio scientifico si è sviluppato il *water footprint network* (Wfpn) per la quantificazione della Wfp di nazioni e prodotti con l'utilizzo di un indicatore capace di gestire la risorsa idrica in scala globale (Stefanon et al., 2018).

L'approccio *ecological water footprint* successivamente ha stimolato i calcoli del consumo idrico secondo il principio del *Life Cycle Assessment* - LCA (Ridoutt et al., 2010) che adotta un punto di vista diverso rispetto a quello della Wfa in quanto, quest'ultimo si fonda su obiettivi di sostenibilità gestionale della risorsa idrica globale, mentre LCA mira alla quantificazione dell'impatto ambientale dell'uso della risorsa nei singoli processi produttivi.

In generale, la Wfa e LCA vengono considerati i metodi di riferimento per la stima della Wfp, tenendo conto che la differenza più rilevante fra i due sistemi di valutazione è che, nella Wfa *green e blue water* hanno importanza simile mentre, nella stima LCA viene considerata solo la *blue water*, in quanto la *green* viene associata all'impatto dell'utilizzo del suolo, per cui è considerata in altre categorie di impatto (Legesse et al., 2017).

Solo recentemente il processo di stima della Wfp e le linee guida per la sua applicazione sono state codificate da norme ISO (14046:2014) (ISO, 2014), che garantiscono un'applicazione standardizzata dell'approccio. In queste norme sono

stati considerati entrambi i metodi, Wfa e LCA, con un approccio *Life Cycle Assessment* obbligatorio per LCA e opzionale per Wfa, e una non necessaria destinazione delle categorie idriche in *green, blue* e *grey water* (Stefanon et al., 2018).

Come conseguenza dello sviluppo di un approccio metodologico più specifico, anche il punto di vista dell'analisi della Wfp ha assunto focus diversi. Più nello specifico, il concetto di acqua virtuale e di Wfa ha favorito approcci di tipo *top-down* in cui viene quantificato il consumo di acqua a livello nazionale o regionale, tenendo conto delle somme positive o negative di acqua locale, importata o esportata, e analizzando i valori ottenuti scomponendoli a livello dei singoli prodotti. Al contrario, il metodo LCA, tramite lo sviluppo di un approccio metodologico più specifico, ha favorito approcci di tipo *bottom-up*, in cui l'uso della risorsa idrica viene stimato associato alla produzione di un bene o di un servizio, i risultati vengono poi estesi a livello nazionale come somma di tutte le diverse filiere. Pertanto, i due approcci portano risultati spesso contrastanti (Feng et al., 2011) ma recentemente sono stati proposti metodi di stima misti che sembrano dare dei risultati più accurati (Scherer e Pfister, 2016).

Il metodo volumetrico di stima della risorsa acqua, cosiddetto Wfa, può essere utilizzato sia con un approccio *top-down* che con un approccio *bottom-up*, con l'obiettivo di eseguire una gestione univoca della risorsa idrica mondiale con la strategia e l'obiettivo della sostenibilità globale (Stefanon et al., 2018).



### 3.2.2.1. WATER FOOTPRINT NET (Wfpnet)

Generalmente vengono considerate più importanti la *blue* e la *gray water* rispetto alla *green water* in quanto questa non è una quantità controllata di acqua e non viene gestita in modo antropico, rispetto alle altre due categorie idriche. Per queste ragioni, non sempre la *green water* viene presa in considerazione nel calcolo dei consumi idrici delle produzioni zootecniche. Infatti, l'utilizzo della *green water* è difficilmente misurabile nei processi produttivi in quanto, la sua quantità varia in funzione dell'andamento meteorologico e di altre variabili specifiche delle colture. Tuttavia, se viene considerato il quantitativo di *green water* evapotraspirata (ET evapotraspirazione) dalle colture e dai pascoli, questa rappresenta il flusso principale con cui l'acqua, dal suolo e dalle piante, risale fino in atmosfera, e questa è una quota importante del consumo idrico e, lo stesso consumo di *blue water* è dipendente dalla *green water*, quest'ultima quindi dovrebbe essere inclusa nel calcolo della Wfp totale. Questa considerazione assume ancora più valore per gli alimenti di interesse zootecnico e per gli alimenti di origine animale per i quali la *green water* è la componente quantitativa principale della Wfp secondo i metodi di calcolo più utilizzati (Stefanon et al., 2018).

Il tradizionale uso della *green water* destina al prodotto tutto il consumo idrico di una coltura, come se nella stessa superficie l'acqua evapotraspirata fosse pari a zero. Nella realtà, quella superficie ricava una quota annua di pioggia, e la sua copertura vegetale avrebbe un'evapotraspirazione positiva anche quando non viene interessata da usi antropici (Stefanon et al., 2018).

L'idea della Wfpnet si sviluppa su tre considerazioni principali:

- La prima considera che l'evaporazione e l'evapotraspirazione sono dei processi naturali che avvengono per interazioni fisiche e biologiche, come radiazione solare e scambi gassosi. In particolare, l'evaporazione si verifica su un suolo in cui non vi è produzione di biomassa, e l'evapotraspirazione avviene sia in presenza di coperture vegetali naturali permanenti, sia in presenza di coperture vegetali rigenerate a fini antropici;
- La seconda considera che l'inclusione della green water nel calcolo della Wfp dovrebbe tenere conto del consumo idrico, ma in termini di efficienza d'uso della risorsa naturale. Per esempio, 1.000 m<sup>3</sup> di green water possono essere evapotraspirati da piante non utilizzate dall'uomo, con minima efficienza dell'uso della risorsa, o possono essere evapotraspirati da biomassa o destinati ad altri processi produttivi, con una bassa o una alta efficienza dell'uso della risorsa disponibile;
- La terza considera che l'evapotraspirazione di coperture naturali diverse da quelle delle culture in atto dipende da fattori come il clima, la gestione del suolo e i climax di vegetazione presente.

Tenendo conto di queste considerazioni, il calcolo della green water dovrebbe essere eseguito basandosi sull'evapotraspirazione differenziale ( $\Delta ET$ ) tra ET della cultura studiata ed ET di uno scenario di riferimento naturale, per esempio

un bosco, presente naturalmente nella stessa area a cui la copertura vegetale tenderebbe se lasciato senza il contributo antropico (Stefanon et al., 2018).

Baldocchi e Xu (2007) hanno proposto due culture di riferimento, tra cui si potrebbe scegliere:

- di breve periodo, che non considera i cambiamenti profondi dell'uso del suolo;
- di lungo periodo, che considera l'abbandono di ampie aree territoriali, che porta in poco tempo allo sviluppo di ecosistemi vegetali permanenti tendenti al boschivo, e che non sempre sono in equilibrio idrico con le precipitazioni atmosferiche.

Generalmente l'evapotraspirazione del suolo è inferiore al 10% del totale di ET, anche quando, nel suo stato superficiale, il suolo si presenta molto bagnato (Villalobos e Fereres, 1990; Jara et al., 1998), questa percentuale può essere ulteriormente diminuita con l'uso di corrette tecniche agronomiche (Turner, 2004; Deng et al., 2006). Infatti, ET delle foreste è spesso maggiore di quello delle colture non irrigue, a causa del tipo di vegetazione e delle caratteristiche climatiche del territorio che influenzano i consumi idrici (Nisbet, 2005).

L'indice Wfpnet viene quindi riferito alla quantità di acqua consumata durante un processo produttivo, di carne o latte, considerando anche il contributo della green e della *blue water* come:

$W_{fpnet} = [\text{biomassa consumata per tipo di alimento utilizzata nella dieta/efficienza dell'uso dell'acqua della cultura che lo genera (green + blue water)}]$

- l'acqua virtuale consumata dalla copertura vegetale naturale della superficie destinata alla produzione di alimenti zootecnici (*green water*) + l'acqua di abbeveraggio (*blue water*) + l'acqua di servizio (*blue water*).

La prima parte dell'equazione, che vede la somma della *green* e *blue water*, rappresenta l'acqua consumata dalle colture comprendente di acqua piovana, acqua contenuta nel suolo e acqua utilizzata per l'irrigazione, al fine di produrre alimenti.

Il secondo termine dell'equazione (*green water*) indica l'evapotraspirazione della copertura naturale che sostituirebbe la cultura antropica esistente se questa venisse abbandonata, rappresentando un costo di opportunità del sistema.

La terza, ed ultima parte dell'equazione (*blue water*), rappresenta l'acqua utilizzata dagli animali per dissetarsi, i quali volumi possono essere ricavati dalla letteratura per le diverse specie e categorie animali, oppure possono essere direttamente misurati in allevamento (Stefanon et al., 2018).

### 3.2.3. WFP PER PRODOTTI DI ORIGINE ANIMALE

Facendo riferimento alle pubblicazioni di Mekonnen (2011) e di Hoekstra (2012), si ottengono i dati per il calcolo della Wfp e Wfpn per le colture e i prodotti di origine animale. Seguendo la Wfa la Wfp, di un prodotto di origine animale, può essere calcolata sommando l'acqua evapotraspirata dalle colture per la formulazione di mangimi, l'acqua di abbeveraggio, l'acqua utilizzata per i servizi installa e la *grey water*.

$Wfp = \text{Acqua necessaria per la produzione degli alimenti (green + blue water)} + \text{acqua per l'abbeveraggio degli animali (blue water)} + \text{acqua per i servizi in stalla (blue water)} + \text{acqua inquinata (grey water)}$

#### Produzione di carne

Come viene espresso in Tabella 4, l'acqua che viene consumata nel processo produttivo degli alimenti, espressa in litri (L) per Kg di peso della carcassa, dipende dalla quantità e dal tipo di alimento utilizzato nella dieta degli animali. Il consumo totale di blu e green water per la produzione di foraggio e granella è di 8.143 L per Kg di carne per i sistemi di produzione intensiva ad alta efficienza dell'uso dell'acqua (Wue: *Water Use Efficiency*), e di 18.491 L per Kg di carne per sistemi di produzione estensiva a bassa Wue. Applicando la formula della Wfp, il

totale varia tra 8.214 L e 18.591 L per Kg di carne, rispettivamente per i sistemi di produzione intensiva in sistemi di produzione estensivi (Stefanon et al., 2018).

Come dai dati riportati in Tabella 4, è stato calcolato da Stefanon (2018) che allevamenti di tipo estensivo associati a basse performance animali portano a valori più alti di Wfp, se vengono confrontati con allevamenti intensivi, rispettivamente del +91%, +69% e +43% per Kg di carne per scenari di alta, media e bassa Wue.

È stata poi riscontrata una forte diminuzione dei valori di Wfp se si sottrae la *green water* di una cultura naturale presente nel territorio dalla *green water* consumata da una qualsiasi coltura. Questo si può anche osservare attraverso i risultati della Wfpnet, in Tabella 4, ottenuti sottraendo il 100% e il 15% del consumo annuale di acqua di una copertura naturale dalla *green water*, stimata per degli alimenti prodotti in asciutto e in irriguo. Utilizzando questi calcoli, il consumo totale di acqua per i foraggi e la granella varia da 690 a 6.929 L di acqua per Kg di carne, rispettivamente per i sistemi estensivi ad alta Wue e sistemi intensivi a bassa Wue.

Infine, Stefanon (2018) utilizzando il calcolo con la metodologia Wfpnet, ha stimato che i consumi di acqua risultano inferiori a quelli stimati con la Wfp dove, le differenze maggiori si osservano per i sistemi intensivi con elevata Wue (riduzione del 95%), e sistemi estensivi con bassa Wue (riduzione del 46%). La Wfpnet risulta maggiore, nei sistemi di produzione intensivi che utilizzano una maggior quantità di alimenti provenienti da terreni irrigui, rispetto a sistemi estensivi.

### Produzione di latte

Il valore della Wfp comprende: l'acqua consumata durante la produzione degli alimenti, l'acqua di abbeveraggio per gli animali e l'acqua consumata per i servizi installa, varia da 341 a 1.120 L per Kg di latte, rispettivamente nei sistemi intensivi ad alta Wue e sistemi estensivi a bassa Wue, come riportato in Tabella 4. I valori ottenuti da Stefanon (2018) concordano con quelli di Mekonen e Hoekstra (2012), calcolati con l'approccio Wfp, mediamente pari a 1.000 L di acqua per la produzione di un Kg di latte in aziende con produzione di mangimi con sistema irriguo. Aziende con performance animali basse, a differenza delle aziende intensive, hanno una Wfp maggiore e pari a +214%, +216% e +198%, rispettivamente per alti, medi e bassi livelli di Wue. Invece, per la produzione del latte la Wfpnet è risultata variabile, da 26 a 408 L di acqua per Kg di latte, nei sistemi estensivi ad alta Wue, e i sistemi estensivi a bassa Wue, rispettivamente.

In totale i consumi di acqua, che sono stati calcolati con il metodo Wfpnet, sono risultati più bassi di quelli calcolati con la Wfp. Nello specifico, variano dal 96%, per i sistemi intensivi con elevata Wue, al 36% per sistemi estensivi con bassa Wue.

Infine, le differenze tra le stime ottenute con i due approcci risultano differenti. Il metodo della Wfp ha prodotto stime più elevate, attribuite principalmente a differenze di evapotraspirazione di vapore acqueo, che torna in atmosfera in presenza o in assenza di sistemi produttivi oggetto di studio (Stefanon et al., 2018).

	CARNE		LATTTE	
	Intensivo	Estensivo	Intensivo	Estensivo
Peso della carcassa bovina, Kg*	350	250	-	-
Produzione di latte, Kg/capo/anno	-	-	9.000	5.500
Sostanza secca ingerita, Kg/Kg di prodotto*	20	30	0,75	1,30
Consumo di foraggio, Kg SS/Kg di prodotto	10	18	0,38	0,65
Consumo di concentrato, KgSS/Kg di prodotto	10	12	0,38	0,65
Foraggio da colture irrigue, %	40%	30%	50%	25%
Concentrati da colture irrigue, %	80%	40%	80%	40%
<i>Acqua consumata per foraggi e granella (Wfp):</i>				
Scenario ad alta Wue: Wfp, L/Kg di prodotto	8.143	15.600	334	717
Scenario ad media Wue: Wfp, L/Kg di prodotto	9.810	16.600	413	853
Scenario ad bassa Wue: Wfp, L/Kg di prodotto	12.961	18.491	560	1.109
<i>Acqua consumata per foraggi e granella (Wfpnet):</i>				
Scenario ad alta Wue: Wfpnet, L/Kg di prodotto	2.230	690	131	16
Scenario ad media Wue: Wfpnet, L/Kg di prodotto	3.880	1.680	208	150
Scenario ad bassa Wue: Wfpnet, L/Kg di prodotto	6.929	3.509	351	397
Consumo di acqua per l'abbeveraggio e servizi aziendali**, L/Kg di prodotto	71,4	100	6,7	10,9
<i>Water footprint finale (Wfp):</i>				
Scenario ad alta Wue: Wfp, L/Kg di prodotto	8.214	15.700	341	728
Scenario ad media Wue: Wfp, L/Kg di prodotto	9.881	16.700	419	864
Scenario ad bassa Wue: Wfp, L/Kg di prodotto	13.032	18.591	567	1.120
<i>Water footprint finale (Wfpnet):</i>				
Scenario ad alta Wue: Wfpnet, L/Kg di prodotto	2.302	790	137	26
Scenario ad media Wue: Wfpnet, L/Kg di prodotto	3.951	1.780	215	160
Scenario ad bassa Wue: Wfpnet, L/Kg di prodotto	7.001	3.609	358	408

\*Bovini da carne in allevamento intensivo: sono stati considerati circa 6.000 Kg di SS consumati per ciclo di crescita e finissaggio. Bovini da carne allevati in allevamento estensivo: sono stati considerati circa 7.500 di SS per il ciclo di produzione in linea vacca-vitello.  
\*\* Bovini da latte: sono stati considerati valori medi osservati in studi condotti in aziende italiane (Atzori et al., 2013)  
L/Kg: acqua consumata per unità di prodotto di origine animale conseguito nel processo produttivo.

Tabella 4. *Water footprint* (Wfp) e *Water footprint net* (Wfpnet) per la produzione di latte e carne bovina, in sistemi intensivi ed estensivi, in tre differenti scenari di *Water use efficiency* (Wue) (Stefanon et al., 2018).



## 4. BENESSERE ANIMALE

### 4.1. TENDENZE DEL SISTEMA ZOOTECNICO

Negli ultimi trent'anni, nei paesi a basso e medio reddito (LMIC), il consumo di alimenti di origine animale, come carne, latte e uova, è più che raddoppiato ([www.fao.org/faostat](http://www.fao.org/faostat)). La globalizzazione, l'urbanizzazione, la crescita della popolazione e del reddito alimentano questa crescita. La crescente domanda, però, offre anche opportunità commerciali per molti produttori di bestiame. È stato stimato dalla FAO (2018a), che la domanda di carne negli LMIC aumenterà di un'ulteriore 40% entro il 2023 e di oltre il 65% entro il 2050. Infatti, i sistemi zootecnici stanno da tempo lavorando per aumentare la produzione per soddisfare la domanda crescente di alimenti, e di adattarsi per soddisfare le nuove preferenze alimentari di una popolazione sempre più ricca e urbanizzata che vive in un'economia globalizzata. Ovviamente, una crescita così rapida, porta con sé sia opportunità ma soprattutto rischi, infatti, la crescita non è distribuita in modo uniforme, con un maggior numero di alimenti derivanti da sistemi intensivi e con un contributo relativamente scarso da parte dei piccoli produttori. I principali rischi comprendono: preoccupazioni per la sicurezza alimentare e nutrizionale, mezzi di sussistenza e di equità, salute e benessere degli animali e ambiente (Magnusson et al., 2022).

I consumatori di molti paesi ad alto reddito (HIC) stanno sviluppando un interesse sempre maggiore riguardo il benessere degli animali, la loro salute e l'ambiente e, stanno diventando anche sempre più preoccupati del rischio

percepito che la zootecnia rappresenta, e molti consumatori si stanno allontanando dalle proteine di origine animale verso diete più vegetali (Magnusson et al., 2022).

#### 4.1.1. TIPI DI SISTEMI DI PRODUZIONE

Per le produzioni di tipo zootecnico solitamente ci affidiamo a una manciata di specie animali per la maggior parte della produzione di carne, latte e uova, anche se la produzione mondiale di bestiame è comunque straordinariamente diversificata. Il bestiame vive ed è allevato in una vasta gamma di sistemi e ambienti di produzione, i quali possono essere intensi o estesi, su larga scala o piccola scala e possono comportare numerosi ettari di terra, lavoro e capitale (Magnusson et al., 2022).

Sono anche gli animali stessi a svolgere ruoli molto diversi nella società e nell'economia dei paesi a cui appartengono, e nel passaggio a sistemi agroalimentari più sostenibili occorre necessariamente comprendere la loro diversità e le motivazioni che spingono gli allevatori, e altri soggetti del sistema agroalimentare, compresi i soggetti a monte come i ricercatori genetici, veterinari e mangimisti, e a valle come trasformatori, distributori e rivenditori. È importante anche comprendere le politiche pubbliche e gli ambienti costituzionali che si occupano anche del settore agroalimentare. Gli stessi consumatori, concorrenti e condizioni di mercato che vengono definiti dalle condizioni culturali ed economiche dei vari paesi, influenzano tutti la sostenibilità del settore in termini di società, economia, operatori del settore agroalimentare e consumatori. La comprensione

profonda degli ambienti di produzione, distribuzione e marketing, in cui il settore opera nelle diverse aree del mondo, deve accompagnare lo sviluppo di soluzioni innovative che possono portare a un sistema zootecnico sostenibile a livello globale (Magnusson et al., 2022).

Per la classificazione dei sistemi di allevamento, e i sistemi agricoli in generale, vengono presi in considerazione vari fattori come: la terra, il lavoro, il capitale, la biomassa del bestiame e la densità di popolazione impiegata in agricoltura. Utilizzando questi parametri Steinfeld (2018) ha definito tre sistemi di allevamento:

Sistemi estesi, sistemi che utilizzano molta terra ma presentano bassi input di lavoro e di capitale concentrandosi maggiormente in habitat marginali rappresentati da aree pastorali e agropastorali.

Sistemi ad alta intensità di lavoro che sono rappresentati da aziende agricole di piccole dimensioni con bassi rendimenti e un surplus di manodopera, molto spesso vincolati alla scarsità di terra coltivabile e la scarsa presenza di capitale.

Sistemi ad alta intensità di capitale che sono associati ad ambienti in cui gli input di terra e lavoro sono stati sostituiti dagli investimenti di capitale attraverso l'intensificazione della produzione e l'estrema meccanizzazione dei processi.

#### 4.1.2. MALATTIE ANIMALI

Esiste una grande varietà di malattie e disturbi vari che affliggono le diverse specie animali allevate a livello mondiale. L'Organizzazione mondiale per la salute animale (WOAH) ha elencato 117 malattie animali, infezioni e infestazioni (82 per il bestiame e altre 35 per le api e gli animali acquatici) che rappresentano quelle di maggior gravità; una serie di altre infezioni meno importanti, sono il profilo della Salute pubblica, minacciano anch'esse la salute e il benessere degli animali e la produttività dei sistemi zootecnici (Magnusson et al., 2022).

Le malattie sono causate da virus, batteri, parassiti e funghi, e ognuno di queste presenta un proprio meccanismo di trasmissione, alcune sono altamente contagiose e altre si diffondono lentamente. Alcune malattie possono essere endemiche nelle popolazioni di bestiame e altre possono avere origine da animali selvatici che spesso forniscono un serbatoio naturale per la possibile reinfestazione (Woolhouse e Gowtage-Sequeria, 2005).

Anche il clima e i suoi cambiamenti hanno un ruolo chiave nel cambiamento della distribuzione di malattie e così pure dei loro vettori, provocando uno spostamento delle malattie in nuove aree e in popolazioni animali che non presentano né resistenza né tolleranza nei loro confronti, e per le quali gli allevatori spesso non hanno l'esperienza né le risorse per affrontarli (FAO, 2013).

I metodi di prevenzione e trattamento che possono essere utilizzati negli allevamenti variano molto a seconda della malattia presa in esame. È comunque generalmente noto che gli animali ben nutriti e che vivono in un ambiente salubre

hanno meno probabilità di ammalarsi e che quindi il benessere degli animali deve diventare un focus centrale nei futuri sistemi di allevamento sostenibili (Diaz-San Segundo et al. 2017). Anche le misure di biosicurezza sono ad oggi essenziali all'interno di un allevamento perché mirano ad impedire che gli animali vengano esposti ad agenti potenzialmente patogeni. In un'ottica più sostenibile e con un elevato livello di benessere animale sono quindi necessarie diverse innovazioni per i molteplici sistemi di allevamento.

In sistemi di allevamento ad alta intensità di capitale, l'utilizzo della biosicurezza è generalmente molto elevato, e il rischio di introdurre in allevamento malattie contagiose è generalmente basso. Tuttavia, quando un patogeno entra in un'azienda agricola la sua diffusione può essere rapida, causando perdita di produzione e richiedendo misure di controllo ed eradicazione. Questi eventi danneggiano direttamente il benessere degli animali e possono comportare gravi danni all'intera azienda agricola.

Invece, in sistemi di allevamento estensivo su piccola scala, la biosicurezza è generalmente bassa. Questo tipo di allevamento comprende, in genere, diverse specie animali e, se viene introdotto un patogeno, questo si diffonde in modo estremamente rapido, così come per altro avviene in altre aziende agricole; la trasmissione può avere luogo attraverso la trasmissione diretta e indiretta, mediante spesso anche da animali selvatici che spesso si trovano nelle immediate vicinanze. Si ritiene che questa tipologia di aziende agricole siano importanti per la nascita e la diffusione di nuovi virus influenzali a causa anche del contatto

ravvicinato con animali selvatici, coadiuvato dal basso livello di biosicurezza (Magnusson et al., 2022).

In generale, per tutti i sistemi di allevamento, un buono stato di salute e di benessere degli animali è fondamentale per la produzione sostenibile degli allevamenti zootecnici in quanto, promuovono un'elevata produttività, una maggior cura degli animali e un uso efficiente delle risorse naturali. La salute e alti livelli di benessere animale possono ridurre le emissioni di gas a effetto serra per unità di produzione, riducono la necessità di antimicrobici e proteggono sia gli agricoltori che i consumatori dalle malattie di origine animale ed altre zoonosi. Aiutano a garantire i mezzi di sussistenza e sicurezza alimentare oltre che ad aumentare la fiducia nei consumatori verso il settore zootecnico (Magnusson et al., 2022). In tutti e tre i tipi di sistema zootecnico le quattro dimensioni di sostenibilità del bestiame adottate da GASL (FAO, 2018) sono fondamentali.

Le motivazioni che portano a non adottare le buone pratiche in materia di salute e benessere animale sono soprattutto la mancanza di risorse, la mancanza di opportunità per sviluppare e supportare le competenze dei produttori, uno scarso accesso ai servizi di polizia sanitaria e tradizioni o questioni culturali (Magnusson et al., 2022).

#### 4.2. BENESSERE ANIMALE

Il concetto di benessere animale è oggetto di profonde riflessioni morali e filosofiche, che hanno portato alla considerazione che l'animale è un essere senziente, seppur con diritti attenuati; e l'uomo ha la responsabilità di porre attenzione alle sue necessità intrinseche ed oggettive (Trattato di Lisbona 2007). Molti autori, come Croney e Anthony (2011) hanno evidenziato la grande difficoltà nel definire il benessere animale perché, uno dei maggiori ostacoli, è il fatto che la percezione di esso è diversa tra le varie popolazioni e in funzione della prospettiva dalla quale viene esaminato. Come per un allevatore, per il quale il benessere dei propri animali si evince dal loro stato di salute e dalle loro performance produttive. Oppure, per un etologo per il quale sono importanti i comportamenti e la manifestazione del benessere psicologico ed etologico dell'animale, a differenza del filosofo, il quale considera il benessere animale raggiunto nel momento in cui l'animale può comportarsi liberamente secondo la propria natura. Gli stessi autori sottolineano anche la difficoltà nel misurarlo/quantificarlo e le implicazioni di carattere etico, economico e ambientale che riguardano il benessere animale (Pirlo e Speroni, 2020).

#### 4.2.1. STORIA E DEFINIZIONI

Secondo molti testi e articoli della letteratura scientifica, l'attenzione mondiale fu rivolta seriamente al benessere animale per la prima volta nel 1964, quando un'autrice e attivista per i diritti del benessere animale, Ruth Harrison, pubblicò il libro "*Animal Machines*" che mostrò al grande pubblico gli aspetti negativi dell'allevamento intensivo.

Solo un anno dopo, nel 1965 con il rapporto Brambell, fu riconosciuto il ruolo fondamentale dell'allevamento nel garantire il benessere degli animali. Di fatto, rappresenta uno dei primi documenti scientifici ufficiali relativi al benessere animale che riporta le famose cinque libertà per gli animali allevati fornendo, al contempo, una delle prime definizioni di benessere animale e indicando la possibilità oggettiva di valutarlo scientificamente. Dopo questo rapporto molti comitati ed enti governativi si interessarono alla relazione tra allevamento, benessere e comportamento animale, arrivando alla conclusione che per garantire l'adeguatezza di un allevamento non ci si deve solo soffermare sugli aspetti produttivi ma anche sul comportamento animale e il suo benessere in rapporto all'ambiente in cui l'animale vive.

Nel 1976, il benessere animale fu definito da Hughes come: "stato di completa salute mentale e fisica nel quale l'animale è in armonia con il proprio ambiente di vita".

Il *Farm Animal Welfare Council* (FAWC), che si occupa tutt'ora di benessere animale in allevamento, durante il trasporto e la macellazione, nel 1979 ha



promulgato le “5 libertà” che devono essere garantite all'animale nell'ambito del miglioramento del suo benessere:

1. libertà dalla fame e dalla sete, garantendo facile accesso ad acqua potabile, pulita e fresca ed a una dieta che assicuri salute fisica e psicologica;
2. libertà dal disagio e dal malessere, garantendo un ambiente appropriato allo stile di vita dell'animale, e alle sue necessità e dimensioni, comprensivo di un riparo adeguato e una confortevole area in cui potersi riposare;
3. libertà dal dolore, lesioni e malattie, fornendo una costante, rapida ed efficace attività di diagnosi, prevenzione e trattamento;
4. libertà di poter esprimere un comportamento normale, grazie ad uno spazio vitale sufficiente, strutture e impianti adeguati con la compagnia di animali della stessa razza;
5. Libertà dalla paura e dallo stress, fornita da condizioni di vita e da una gestione della stalla che impedisca la sofferenza agli animali non solo fisica ma anche psicologica.

Successivamente alla pubblicazione delle cinque libertà, sono state sviluppate diverse definizioni di benessere animale.

Nel 1988, Hurnik e Lehman definiscono il benessere animale come: “uno stato o una condizione di armonia fisica e psicologica tra l'organismo e il suo ambiente, caratterizzato dall'assenza di privazioni, stimoli avversi, sovra

stimolazione o qualsiasi altra condizione imposta che influenza negativamente la salute e la produttività di ogni organismo”.

Nel 1993, invece, Broom e Johnson definirono il benessere animale come: “lo stato di un individuo per quanto concerne i suoi tentativi di adattarsi all'ambiente”. Questa definizione ha sottolineato come l'animale sia un individuo capace di provare sensazioni come la paura e lo stress e che entra in relazione con l'ambiente nel quale viene allevato viene pure condizionato dalla gestione dell'allevatore. Questo ha dimostrato che per garantire il benessere animale occorre considerare diversi fattori.

Studi più moderni hanno definito il concetto di benessere animale mettendo in evidenza tre aspetti principali:

1. L'aspetto funzionale (*biological functioning*) secondo cui ci deve essere una diretta correlazione tra livello di benessere e stato funzionale dell'organismo animale. Alti livelli di benessere animale devono corrispondere ad un organismo che abbia un funzionamento ottimale, valutando lo stato di salute generale, il tasso di accrescimento e la capacità riproduttiva dell'animale;
2. L'aspetto della percezione dell'animale (*effective state*), che racchiude gli stati psicologici, affettivi ed emozionali che l'animale è in grado di provare. Di conseguenza viene valutata la fame, il dolore, lo stato di salute e di stress;
3. L'aspetto del comportamento naturale (*natural living*), la possibilità e la capacità da parte dell'animale di poter esprimere il

proprio comportamento innato e naturale, che è tipico della specie e della razza a cui appartiene. (Fraser et al., 1997, von Keyserlingk, et al., 2009; Fraser, 2008)

In un sistema di allevamento moderno, questi tre aspetti che definiscono uno stato di benessere animale, possono essere facilmente contrapposti tra loro. Ad esempio, in un allevamento che presenta un'elevata densità di capi, con una conseguente problematica di tipo sociale e gerarchico, una qualsiasi bovina da latte può trovare delle difficoltà nel trovare una cuccetta dove riposarsi (natural living), ritrovandosi in una situazione non confortevole, e potrebbe di conseguenza manifestare alcuni sintomi di stress (effective state), che possono portare, a breve-lungo termine, ad un calo della produzione (biological functioning). Questo esempio esprime in modo chiaro come in una struttura moderna, pulita e adeguata, vi possano comunque essere degli elementi di scarsa qualità che non garantiscono un vero stato di benessere ideale (Brunetta, 2019).

#### 4.2.1.1. NORMATIVE E LEGGI DI BENESSERE ANIMALE

L'Unione Europea garantisce uno tra i più elevati standard di benessere animali al mondo grazie allo sviluppo della strategia per la protezione e il benessere degli animali 2012-2015. In aggiunta è stata promulgata un'importante direttiva del Consiglio, la 98/58/CE recepita con D.L. vo 146/2001 che definisce diverse norme e regole per la protezione animale negli allevamenti, insieme ad altre normative europee per gli standard di benessere durante la fase di trasporto, stordimento e macellazione degli animali (Brunetta, 2019).

In Italia, la protezione e il benessere degli animali è regolamentata dal decreto legislativo n. 146/2001 che rappresenta l'attuazione della direttiva 98/58/CE, che si riferisce allevamento di vitelli, galline ovaiole e suini. Grazie ad altri regolamenti CE, come nel caso della 882/2004, gli Stati membri devono sottostare a programmi di ispezione negli allevamenti e devono stilare relazioni annuali sottolineando i risultati ottenuti dai controlli condotti nei diversi settori della sicurezza alimentare, tra i quali è molto importante il benessere animale (Brunetta, 2019).

Una misura moderna atta a rettificare e modificare certi aspetti l'allevamento bovino, in merito ad igiene e benessere animale, è la 215 del PSR (Programma di Sviluppo Rurale) che ha l'obiettivo di:

- a. Migliorare le dimensioni, tipologie e pulizia della lettera e le caratteristiche della luce naturale;

- b. Prevenire le patologie derivanti dalla gestione dell'allevamento in ogni sua parte vedere le condizioni in cui gli animali vengono mantenute in stalla;

Oltre alle diverse normative e aspetti legislativi richiesti sia dall'Unione Europea che dal singolo paese, è sempre fondamentale che l'animale venga trattato in allevamento con più rispetto possibile, garantendogli calma e tranquillità, evitando comportamenti aggressivi e violenti che, oltre a causare lesioni e problematiche fisiche, possono inevitabilmente determinare condizioni di stress cronico difficilmente trattabile, che è fondamentalmente controproducente sia per l'animale stesso che per l'allevatore (Brunetta, 2019).

#### 4.2.2. BENESSERE ANIMALE E SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

La sostenibilità sta diventando, per imprese o attività varie, un obiettivo importante e uno stimolo nel miglioramento del proprio sistema di lavoro. La sostenibilità è un criterio che deve tenere conto di molteplici aspetti, da quello sociale, a quello economico o ambientale. Nel caso delle produzioni zootecniche, un aspetto molto importante che deve essere preso in considerazione è quello del benessere animale, che è diventato nel tempo un tema fondamentale ed attuale. Negli ultimi anni infatti c'è stata una spinta sociale fortissima che ha indotto gli stati a produrre numerose norme per il rispetto dell'animale e del suo benessere (Pirlo e Speroni, 2020).

Nel sistema zootecnico il tema della sostenibilità è diventato centrale soprattutto perché, a causa di una crescente domanda di alimenti di origine animale, è in atto uno sviluppo di aziende con un numero di capi allevati molto alto e con prestazioni sempre più spinte. L'importanza del tema del benessere animale è anche legata al fatto che influenza direttamente altre componenti dell'allevamento, in particolare la sicurezza alimentare e l'ambiente (Pirlo e Speroni, 2020). Esiste quindi un rapporto fortissimo tra benessere animale e ambiente, e prescindere da uno di questi due aspetti implica non avere a che fare con un sistema produttivo sostenibile perché causa di mancato benessere per gli animali, o perché le emissioni sono eccessive o vi è uno spreco di risorse (Broom, 2019).

Il rapporto tra prestazioni ambientali e benessere animale è molto complesso, talvolta sinergico, nel senso che buone condizioni di benessere animale determinano spesso anche buone prestazioni ambientali, e il motivo è che buone pratiche di allevamento che puntano a considerare centrale lo stato di benessere degli animali, permettono di ridurre l'insorgenza di malattie a vantaggio dell'efficienza produttiva, principale arma nella riduzione dell'impatto ambientale (Perry et al., 2018).

È particolarmente difficile la valutazione della sostenibilità di un allevamento, considerato che è composta da molteplici categorie economiche, normative, sociali, etiche e ambientali e, ciascuna di esse, è composta da altrettanti numerosi indici. Gli indicatori del benessere animale sono: libertà dalla fame e dalla sete, assenza dal dolore e dalle malattie, possibilità di esprimere i propri comportamenti naturali, la mancanza di situazioni sconfortevoli, di paura e di stress.

Nel caso invece, della sostenibilità ambientale si debbono considerare gli indici riguardanti la qualità dell'aria e dell'acqua, i cambiamenti climatici, l'impiego di energia non rinnovabile e l'utilizzo del suolo. Questi indicatori, di benessere animale e sostenibilità ambientale, sono correlati tra loro sia positivamente che negativamente, e fornire un'unica valutazione su un allevamento è molto complesso. Vi sono studi che offrono strumenti per una valutazione, seppur non completa utilizzando un unico indice, in grado di mettere insieme più indicatori e fornire una valutazione (Pirlo e Speroni, 2020). Come nello studio di Bonneau (2014 a, b) nel corso del quale sono stati studiati 15 differenti sistemi di allevamento suinicoli europei e 37 differenti indicatori che caratterizzano la sostenibilità di un allevamento: benessere animale, salute animale, programmi di selezione, sicurezza della carne, ambiente, conformità del mercato, economia e condizioni di lavoro.

#### 4.2.2.1. STIMA DELLO STATO DI BENESSERE

Stimare lo stato di benessere degli animali in allevamento è un indicatore imprescindibile per le attività che si pongono l'obiettivo di migliorare ed alzare il livello di benessere degli animali e renderlo compatibile con le esigenze di sostenibilità ambientale. I vari metodi di stima differiscono tra di loro per le specie e il sistema di allevamento, partendo però sempre dal rispetto delle 5 libertà del *Brambell Committee Report* del 1965: libertà dai disagi ambientali, da fame e sete, da stress e paura, da malattia e dolore, e libertà di esprimere comportamenti naturali; che sono il fondamento e l'obiettivo del benessere animale.

A livello europeo, è nato durante il VI programma quadro dell'Unione Europea, chiamato *Welfare Quality*, che riguarda le categorie di bovini, suini e polli da carne e ovaiole. I protocolli *Welfare Quality* si basano su quattro principi fondamentali di benessere: buono stato sanitario, comportamento adeguato, buona alimentazione e stabulazione idonea. Sulla base di questi quattro principi sono stati identificati 12 criteri di valutazione di benessere: assenza da fame prolungata, assenza da sete prolungata, comfort del ricovero, comfort termico, facilità nel movimento, assenza da lesioni, assenza da malattie, assenza da dolore causato da procedure gestionali, espressione del comportamento sociale, espressione di altri comportamenti, buona relazione animale-uomo e stato emozionale positivo. Il progetto *Welfare Quality* ha stipulato dettagliati e completi protocolli che traducono i criteri per misurazioni da poter effettuare a livello aziendale per poi attribuire un punteggio a ciascun criterio, e i punteggi attribuiti ai 12 criteri vengono formulati per creare un punteggio per ciascun principio e infine, i quattro punteggi ottenuti della valutazione dei principi vengono combinati per dare un punteggio globale a livello di allevamento (Welfare Quality, 2009 a, c).



#### 4.2.3. EFFETTI DEL BENESSERE SULLO STATO DI SALUTE

Secondo la definizione di Broom (1996) il benessere animale è “lo stato di un individuo per quanto concerne i suoi tentativi di adattarsi all'ambiente”, e spiega la relazione che esiste tra benessere animale e risposta allo stress, concepito come effetto ambientale sui sistemi di controllo e regolazione dell'individuo stesso.

Lo stress è una reazione adattativa necessaria all'animale per fronteggiare situazioni di emergenza in situazioni di stress acuti e di durata limitata, che originano una serie di reazioni fisiologiche e comportamentali che preparano l'animale a evitare la fonte dello stress. Il problema fondamentale per gli animali d'allevamento è che vivono in ambienti diversi da quelli in cui si sono originariamente adattati e le loro risposte allo stress sono ancora in gran parte in linea con l'ambiente naturale. In una situazione di forte stress all'animale aumenta la frequenza cardiaca e si alzano i livelli ematici di adrenalina per prepararlo ad un'eventuale fuga, oppure, in caso di stress o di paura gli animali creano un circolo unito per difendersi, in natura da un predatore, in allevamento da un fattore particolarmente stressante. In allevamento, quando la causa che provoca lo stress agli animali non viene rimossa o modificata, o l'animale non ha la possibilità di fuggire da determinate situazioni, tali risposte adattative possono non dare all'animale il risultato voluto e ripetersi a lungo in modo inefficace provocando uno stato di stress cronico (Pirlo e Speroni, 2020).

Molto spesso delle condizioni di stress, anche prolungato, possono provocare delle risposte dannose o determinare l'incapacità di produrre risposte

efficaci alle infezioni (Sapolsky et al., 2000), oppure rendere l'animale molto più vulnerabile alle malattie. In uno studio recente Pulina (2017) ha dimostrato gli effetti dello stress a cui sono sottoposti i ruminanti sulle loro prestazioni e sul loro stato di salute, e come uno stimolo stressogeno cronicizzato possa influenzare sia lo stato di salute, ma anche la produzione e la qualità del prodotto fino ha determinato un'alterazione dell'efficienza di trasformazione degli alimenti e dell'efficacia riproduttiva delle bovine.

#### 4.2.4. BENESSERE, SALUTE E PRESTAZIONI ANIMALI

Esistono numerosi studi che dimostrano come uno stato di benessere animale carente abbia effetti diretti sulla produttività e sull'efficienza delle aziende. Un classico esempio è il controllo della mortalità neonatale in vitelli, suinetti e agnelli, che è causata prevalentemente da fattori come l'ipotermia, la malnutrizione materna, lesioni e infezioni, nello specifico gastroenteriche, come diarrea, e respiratorie (Mellor e Stafford 2004; Windeyer et al 2014). Gli elevati tassi di mortalità possono essere anche correlati a una stabulazione inadeguata con eccessiva densità (sovraffollamento), freddo e umido, ma anche da inadeguate prestazioni degli addetti alla stalla ed una errata gestione del colostro.

Lo studio condotto da Bach (2008) dimostra l'effetto della densità di allevamento sulla produzione di bovine da latte studiate in 47 aziende del nord-est della Spagna, le quali presentavano una media di densità di allevamento del 90% (0,90 vacche per cuccetta). Gli autori hanno stimato che, da una produzione media

tra il 20 e il 30 Kg /giorno, con un aumento del 10% della densità di allevamento, si otteneva una conseguente perdita stimata della resa di latte di 0,52 Kg/giorno. Questo studio si allinea ai dati ottenuti dal *Miner Institute* (Grant, 2007), secondo cui esiste una relazione positiva tra ore di riposo e produzione, per cui ogni ora di riposo aggiuntivo corrisponde a 1,7 Kg di latte in più prodotto. La validità di questi due studi è stata ulteriormente dimostrata dai lavori di Fregonesi (2007) e Hill (2009) che hanno stimato la relazione quantitativa tra tempo di riposo e densità di allevamento.

Lo studio condotto da Tremetsberger (2019) ha studiato l'associazione tra salute e benessere animale con efficienza tecnica in 34 aziende bovine da latte austriache. I livelli di salute e benessere animale sono stati valutati utilizzando il protocollo *Welfare Quality* prima e un anno dopo il miglioramento della gestione sanitaria, della stabulazione e del benessere animale. Gli autori hanno ampiamente dimostrato come alcune aziende abbiano raggiunto efficienze tecniche più elevate grazie con uno stato di salute più elevato, principio *Welfare Quality* "assenza di malattie".

In generale, tra le malattie che hanno un diretto effetto nella riduzione della produzione e della fertilità delle bovine, ha un peso importante la laminite, che è direttamente correlata l'alimentazione e alle condizioni strutturali dell'allevamento, oltre ad avere conseguenze dirette sull'efficienza e sull'ambiente. Un peso così importante è dovuto dal fatto che la laminite è una malattia difficile da individuare prima delle manifestazioni cliniche. Perciò, la sofferenza causata dalla malattia e dalla mancata prevenzione e il tardivo trattamento rappresentano un

problema di benessere animale, ma anche economico per l'allevatore che deve eliminare gli animali che ne soffrono precocemente (Croney e Anthony, 2011).

Esiste anche una diretta correlazione tra malattie e l'ambiente: è stata, infatti, stimata in uno studio condotto da Chatterton (2014) in allevamenti da latte nordamericani. Dalla ricerca risulta come, l'impronta di carbonio di una bovina sana dovrebbe essere in media di 0,89 Kg di CO<sub>2</sub>-eq per Kg di latte corretto grasso. Considerando l'incidenza delle principali malattie, gli autori hanno stimato l'impronta di carbonio delle bovine, risultante 0,94 Kg di CO<sub>2</sub>-eq, dovuto principalmente alla perdita di efficienza che le malattie comportano. Con questo studio hanno quindi verificato che la malattia con maggiore effetto sulle prestazioni ambientali della bovina da latte sia la paratubercolosi (*Johne's disease*) che ha determinato un aumento del 24% dell'impronta di carbonio. Per la salmonellosi e la BVD (*Bovine Viral Diarrhea* ossia diarrea virale bovina) hanno stimato un aumento delle emissioni variabile dal 16 al 20%; invece, per la fascicola epatica, IBR (*Infectious Bovine Rhinotracheitis* ovvero rinotracheite infettiva), zoppie e mastiti hanno stimato un impatto tra il 7 e il 10% dell'impronta di carbonio delle bovine. Questo studio è stato rivolto anche alle bovine da carne, dove gli autori hanno stimato che un allevamento sano dovrebbe corrispondere a un'impronta di carbonio pari a 17,1 Kg di CO<sub>2</sub>-eq per 1 Kg di carne; invece, in presenza di malattie l'impronta è maggiore del 6,6% (Chatterton et al. 2014)

Una malattia in particolare, con effetti importanti sulle prestazioni ambientali, è la mastite bovina, problematica molto rilevante negli allevamenti di bovine da latte. La mastite può essere di origine batterica (*Staphylococcus aureus* e

*Streptococcus agalactiae*), con una trasmissione animale-animale durante la mungitura, o di origine ambientale causata da batteri come *Escherichia coli*, *Streptococcus uberis* e *Klebsiella*, derivante dalla trasmissione per contatto della mammella con un ambiente o superficie contaminata. Oltre a ciò, le mastiti possono essere di tipo clinico, subcliniche e croniche con una conseguente riduzione del quantitativo di latte e dell'efficienza produttiva. Ciò fa sì che, secondo le linee guida di una valutazione *Life Cycle Assessment* (LCA), il carico ambientale in termini di emissioni o di consumi di risorse non rinnovabili, aumentati notevolmente (Pirlo e Speroni, 2020).

In questo tipo di allevamenti, colpiti da particolari malattie, la perdita di efficienza produttiva non è solo collegata al fatto che diminuisce la produzione giornaliera, ma anche dalla più breve durata della vita degli animali in allevamento, che vengono sostituiti precocemente, comportando anche una diminuzione del numero di vitelli nati per animale.

Hospito e Sonesson (2005) hanno valutato, attraverso il metodo LCA, le prestazioni ambientali confrontando un allevamento di riferimento e uno che ha adottato misure apposite con un'incidenza di mastiti inferiori (18% rispetto a 15%). Infatti, un'incidenza minore di mastiti genera prestazioni ambientali migliori e un'impronta di carbonio per Kg di latte del 2,5% e del consumo di risorse non rinnovabili, del 5,8%.

Un'altra malattia molto problematica in allevamento bovino è la chetosi e, Mostert con il suo gruppo di ricerca (2018) ha studiato gli effetti della chetosi subclinica su alcuni indicatori ambientali; ne è risultato che, a causa di una distanza

maggiore tra periodo del parto e concepimento come pure dalle eliminazioni di latte, dalla diminuzione della produzione e in ragione del maggior numero di animali riformati, l'intensità di emissioni di gas effetto serra aumenta di 20,9 Kg di CO<sub>2</sub>-eq.

Infine, è stato studiato l'effetto ambientale della durata della vita di una bovina da latte, senza considerare malattie, da uno esperimento svolto da Glandl (2019) su 30 bovine di diversa età. Gli autori hanno valutato come le emissioni di gas a effetto serra si riducano dal 15 al 20%, associate a un Kg di proteina prodotta, passando da una vita produttiva di una bovina di 400 giorni a una di 2800 giorni. Gli animali a 400 giorni dal primo parto hanno un'impronta di carbonio compresa tra i 40 e i 50 Kg di CO<sub>2</sub>-eq per Kg di proteina, rispetto ai 38-40 Kg di CO<sub>2</sub>-eq di animali ai 2800 giorni dal primo parto. Questi dati sono anche spiegati dal fatto che, su animali da 400 giorni dal primo parto, grava il peso della prima parte di vita non produttiva, ma che si diluisce sempre di più man mano che la vita produttiva si allunga e la produzione totale della bovina aumenta.

Un'indagine condotta su 53 allevamenti di bovine, sia da latte che a duplice attitudine, ha rilevato che i principali fattori che determinano l'impronta di carbonio del Kg di latte siano il tasso di rimonta e la produttività, che è anche condizionato dalla presenza di malattie in allevamento e dalle prestazioni riproduttive delle bovine, influenzate a loro volta dalle condizioni di benessere animale (Zehetmeier et al. 2013).

#### 4.2.5. SISTEMI DI ALLEVAMENTO E SISTEMI AMBIENTALI

Di norma, un sistema di allevamento basato sul pascolo, è associato ad un alto livello di benessere animale, in quanto l'animale dispone di ampi spazi per esprimere il suo comportamento naturale, può scegliere in autonomia la quantità e la qualità di alimenti di cui cibarsi e può interagire facilmente con gli altri animali del proprio gruppo. È stato visto però, in molti studi, che le prestazioni produttive degli allevamenti al pascolo, sono inferiori rispetto ai sistemi confinati, e questo determina che anche le prestazioni ambientali siano inferiori. Nel caso specifico dell'allevamento di pecore da latte, uno studio svolto da Batalla (2015) dimostra come nei sistemi estensivi/pascolativi diminuisce considerevolmente la produzione di latte per capo e, paradossalmente, aumenta la quantità di concentrato per litro di prodotto e peggiora l'impronta di carbonio imputabile alle pecore. I ricercatori, inoltre, nello studio raccomandano di considerare il sequestro di carbonio, che si verifica durante il pascolo e che contribuisce alla riduzione dell'impronta di carbonio degli animali. Tuttavia, i ricercatori sottolineano che non esiste ancora un metodo di stima preciso del sequestro di carbonio al pascolo e definire se un allevamento può portare dei vantaggi ambientali oltre che di benessere animale. Gli autori precisano anche che, nel confronto tra sistemi basati sul pascolo e sistemi confinati, sotto il profilo ambientale, non bisogna limitarsi solo su categorie ambientali per la valutazione quali: cambiamenti climatici, eutrofizzazione, acidificazione e uso di risorse non rinnovabili, ma bisogna anche considerare altri aspetti, come la biodiversità, il paesaggio o i servizi ecosistemici,

per i quali i sistemi basati sul pascolo presentano innumerevoli vantaggi (Batalla et al., 2015).

Per quanto riguarda il sistema biologico, questo tipo di allevamento prevede una serie di misure per migliorare il benessere degli animali rispetto al sistema convenzionale. In un allevamento biologico, di norma, viene concesso più spazio agli animali, e nel caso di ruminanti a questi va dato l'accesso al pascolo, e in generale le prestazioni produttive sono meno spinte.

In uno studio svolto sul suino sono stati analizzati differenti sistemi di allevamento: allevamento convenzionale, *Red label* (sistema di allevamento attento al benessere animale) e sistema biologico. L'allevamento di tipo convenzionale prevede il confinamento degli animali, mentre il secondo e il terzo tipo di allevamento prevedono un ampio spazio al coperto e l'accesso libero ad aree esterne. I ricercatori di questo studio hanno constatato che per l'effetto delle migliori prestazioni produttive, il sistema di tipo convenzionale offre anche migliori prestazioni ambientali, se riferito alla quantità di carne prodotta, considerato che il sistema Red label e quello biologico hanno densità inferiori rispetto a quello convenzionale e l'impatto per unità di superficie è minore rispetto a quello convenzionale (Basset- Mens et al., 2007).

Un altro studio che offre un esempio importante è quello svolto da Pashaei Kamali (2014) riguardo l'allevamento di bovine da carne, secondo il sistema biologico e quello convenzionale. Lo studio ha rivelato che, a causa di una maggiore durata dal ciclo produttivo, il sistema biologico ha valore di riscaldamento globale, uso di energia e occupazione di suolo peggiori rispetto ai sistemi di allevamento



convenzionali. Bisogna sottolineare che il sistema biologico prevede l'utilizzo di razze autoctone o, adattate ad un ambiente meno controllato con un'alimentazione meno spenta. Infatti, il sistema di allevamento non devono solo caratterizzarsi per il rispetto di determinate regole o parametri ma devono considerare anche l'idoneità di una razza a quello specifico sistema di allevamento in cui viene utilizzata. Questo problema è particolarmente sentito nel caso degli allevamenti di polli per la produzione di carne perché molto spesso, in allevamenti biologici, sono allevati polli specializzati per la carne ma poco adatti al razzolamento. Infatti, Castellini (2012) ha dimostrato come lo stato di benessere e le prestazioni ambientali sono indette in definitiva gli stessi in un sistema biologico e in un sistema convenzionale se in un allevamento biologico si utilizza una razza a rapido accrescimento. Se venisse invece utilizzata una razza a lento accrescimento, che è più robusta e in grado di razzolare, migliorano gli indici di benessere e le principali categorie di impatto ambientale.

L'importanza delle prestazioni produttive degli animali, determinate dal sistema di allevamento sulle prestazioni ambientali, è evidenziata dallo studio svolto da Leinonen (2012b) che ha confrontato 10 allevamenti di galline ovaiole allevate in gabbia, in aviario, all'aperto e con sistema biologico.

		<b>GABBIA</b>	<b>AVIARIO</b>	<b>ALL'APERTO</b>	<b>BIOLOGICO</b>
<b>Produzione di uova per ovaioia</b>	<i>n° uova/anno</i>	315	300	293	280
<b>Consumo di energia</b>	<i>Gj</i>	16,88	22,20	18,78	26,41
<b>Riscaldamento globale</b>	<i>1000 Kg CO2-eq</i>	2,92	3,45	3,38	3,42
<b>Eutrofizzazione</b>	<i>Kg PO4-eq</i>	18,47	20,32	22,03	37,61
<b>Acidificazione</b>	<i>Kg SO2-eq</i>	53,14	59,43	64,13	91,63
<b>Pesticidi</b>	<i>Dose/ettaro</i>	2,07	2,20	2,33	0,09
<b>Consumo risorse non rinnovabili</b>	<i>Kg/Spec.</i>	9,11	14,62	15,38	20,25
<b>Uso del suolo</b>	<i>Ettaro</i>	0,40	0,42	0,51	1,69

Tabella 5. Principali categorie di impatto su 1000 kg di uova. (Leinonen et al., 2012)

Gli stessi autori hanno svolto simili ricerche anche su allevamenti di polli da carne allevati in modo standard, all'aperto e con sistema biologico, e sono arrivati ai medesimi risultati ottenuti con galline ovaiole. Si può notare, come riportato in Tabella 5, che il quantitativo di uova prodotte per ovaioia in un anno siano inferiori in un allevamento biologico rispetto alle altre tipologie di allevamento, giustificato dall'utilizzo di animali meno spinti alla produzione. Gli autori hanno dimostrato come dai tre allevamenti non biologici l'impatto ambientale, uso del suolo e consumo di energia, era più basso rispetto all'allevamento biologico.

Bisogna però definire molto bene il concetto di sistema produttivo perché sotto questo nome si trovano diverse tecnologie e sistemi gestionali molto diversi (Pirlo e Lolli, 2019). Questo vale soprattutto quando si confrontano sistemi convenzionali con il sistema biologico, e una generalizzazione delle definizioni

porta spesso a risultati apparentemente contrastanti. Infatti, nello studio di Pelletier (2017), i risultati ambientali migliori sono stati ottenuti dal sistema biologico di produzione di uova, e non dai sistemi convenzionali, o altri tipi di sistemi di allevamento, come negli studi citati in precedenza. Questo perché all'interno di uno stesso sistema di allevamento si possono applicare soluzioni gestionali estremamente diverse che incidono significativamente sulle prestazioni ambientali e sui parametri di benessere degli animali (Pirlo e Speroni, 2020).

## 5. PRATICHE SOSTENIBILI DI MITIGAZIONE DELLE EMISSIONI

### 5.1. SOSTENIBILITÀ DELLE PRODUZIONI BOVINE

Sono evidenti in tutto il mondo i benefici l'allevamento zootecnico, anche in una società moderna, dove però spesso viene additato come uno dei maggiori responsabili dell'impatto ambientale. Sono però ovvi molti benefici di tipo ecologico, oltre alla capacità di produrre alimenti con alto valore nutritivo, la conservazione di ecosistemi come prati e pascoli permanenti, la preservazione del terreno coltivando foraggi, di utilizzare i reflui zootecnici e chiudere i cicli nutritivi e fornire lavoro i benefici sociali altrimenti non realizzabili, soprattutto nelle aree più povere del mondo (Janzen, 2011).

Inoltre, un altro beneficio dell'allevamento zootecnico è la possibilità di utilizzare sottoprodotti delle coltivazioni o dell'industria alimentare come alimenti per i ruminanti (Von Kaufmann e Fitzhugh, 2004; Garnett, 2009); sottoprodotti che non verrebbero utilizzati in altro modo, aumentando l'impatto ambientale negativo della produzione vegetale.

Con un allevamento intelligente e accorto del bestiame, è possibile mantenere il territorio, migliorare i servizi ecosistemici di molte aree del mondo, soprattutto se fatto in maniera conservativa e di rinnovo dei prati permanenti, i quali hanno un altissimo grado di biodiversità (Steinfeld e Gerber 2010; Janzen, 2011).

È stato stimato dal Ipcc (IV assesement Report; Smith et al., 2007) come la mitigazione potenziale riguardo le emissioni di gas effetto serra derivanti dall'agricoltura sia ipotizzabile essere per il 2030 pari a 5.500-6.000 milioni di

tonnellate di CO<sub>2</sub>-eq. Una buona parte delle azioni di mitigazione, pari all' 89%, sono da imputare al sequestro di carbonio nel suolo invece, la mitigazione della produzione di metano, che è derivata dalle fermentazioni enteriche degli animali, la gestione dei reflui e dalla coltivazione del riso rappresenterebbero il 9% delle azioni di mitigazione.

In uno studio del 2011, O'Mara propone alcuni metodi che si possono adottare per diminuire le emissioni di gas ad effetto serra come: migliorare le prestazioni delle pratiche alimentari che includono la sostituzione di una parte di foraggi con i concentrati e così pure migliorare la qualità dei foraggi con l'aggiunta di una percentuale maggiore di leguminose associate a grassi per diminuire la produzione di metano.

Un'altra pratica interessante potrebbe essere quella di impiegare additivi vegetali specifici oppure utilizzare foraggi che contengono naturalmente metaboliti secondari, come tannini o oli essenziali. Uno studio condotto da McAllister (2011) ha dimostrato buoni risultati in vitro nella diminuzione della produzione di metano in ruminanti al pascolo utilizzando olii essenziali nella razione. I ricercatori hanno però sottolineato la difficoltà di riscontrare quantità sufficienti di oli essenziali nelle essenze prative.

### 5.1.1. ALIMENTAZIONE

L'alimentazione, per quanto riguarda l'allevamento di bovini da latte, rappresenta una percentuale significativa dell'impatto ambientale della produzione. In genere le emissioni derivanti dall'attività enterica coprono fino al 50% delle emissioni di GHG, contro la produzione aziendale e la cura degli animali che rappresenta circa il 40% delle emissioni (Guerci et al., 2012). Un altro contributo molto importante è quello dato dalla produzione di alimenti rispetto all'acidificazione e all'autorizzazione delle acque, rispettivamente 50% e 70%.

Quindi l'alimentazione ha un impatto importante sulla produzione delle emissioni, e una corretta alimentazione può contribuire all'impatto ambientale della produzione di latte e influire notevolmente nel sostenere la produzione e ad aumentare l'efficienza. È stato dimostrato da Guerci (2012), che le aziende intensive con alte produzioni per capo e con buona efficienza di trasformazione dell'alimento in latte sono anche quelle che manifestano le migliori performance ambientali. Alla base di queste performance vi è un'alimentazione equilibrata e ricca di concentrati, come dimostrano nel loro lavoro Müller-Lindenlauf (2010), i quali hanno confrontato aziende con un elevato utilizzo di concentrati e aziende che facevano ricorso quasi completamente al pascolo.

Per l'alimentazione delle bovine da latte la scelta degli alimenti per la formulazione di razioni è vincolata dal sistema foraggero che viene praticato all'interno dell'azienda, infatti, negli areali italiani, a causa del contenimento dei costi, si predilige la coltivazione di foraggi. Pertanto, una buona strategia di mitigazione che potrebbe essere applicata per ridurre l'impatto ambientale della

produzione del latte è quella di scegliere un sistema foraggero meno impattante ma che consenta ugualmente di produrre adeguate quantità di sostanza secca e nutrienti.

Lo studio di Salou (2017) ha dimostrato come l'inclusione nelle diete per bovine da latte di un'elevata quantità di foraggi porta inevitabilmente ad un incremento di emissioni di metano enterico con un alto impatto ambientale. In questo studio sono state classificate 70 aziende francesi in base alle loro modalità di gestione. Le aziende di tipo intensivo sono state considerate dai ricercatori le aziende che utilizzavano una maggior quota di alimenti concentrati nelle diete, con una quantità elevata di mais insilati. Mentre, nelle aziende estensive le diete includevano quantità elevate di erba da pascolo e fieni, con una ridotta percentuale di concentrati. Da questo lavoro si può dedurre che nell'allevamento da latte i sistemi foraggeri più produttivi sono quelli che hanno un impatto ambientale minore mentre, i sistemi estensivi, principalmente a causa di una minore produttività, sono quelli che hanno impatti maggiori.

È importante però sottolineare come l'utilizzo di reazioni con un'elevata percentuale di concentrati per la formulazione di alimenti per bovine da latte, se da una parte supporta la produzione con una conseguente riduzione dell'impatto ambientale, dall'altra rischia di provocare modifiche negative nella qualità del latte con una riduzione della percentuale di grasso, fino a provocare molteplici problemi metabolici agli animali.

Infine, un contenuto eccessivo, e quindi una cattiva formulazione, dei concentrati nella dieta, in particolare quelli di origine proteica, può portare a perdite

di ammoniaca, di composti azotati nelle urine, nel latte e nelle feci con un incremento dei valori di acidificazione ed eutrofizzazione, ed aumentare quindi l'impatto ambientale dell'allevamento.

Un'altra problematica dell'allevamento di bovine da latte, legato all'alimentazione, sono le emissioni di metano. Sono molti i lavori che si sono occupati negli ultimi anni della relazione tra strategie alimentari ed emissioni di metano enterico. Uno di questi è lo studio di Knapp (2017) il quale ha preso in considerazione molteplici aspetti dell'allevamento bovino da latte, i quali sono in grado di influenzare le emissioni di metano come: tipologia di reazione, gestione della mandria, genetica degli animali e gestione del benessere animale. Relativamente agli aspetti legati all'alimentazione, in questo studio sono stati presi in considerazione: l'aumento delle ingestione di sostanza secca, che può avere un effetto positivo sull'efficienza produttiva, la variazione della struttura e grandezza dei foraggi per aumentarne il transito nell'apparato digerente, l'alterazione della struttura dei concentrati per favorire la produzione di acido propionico, un costante mantenimento del Ph ruminale per favorire l'attività dei batteri presenti nel rumine, l'incremento della percentuale dei concentrati nella razione e l'inclusione di foraggi di elevata qualità nella dieta per ridurre il contenuto di fibra. In questo studio è stato dimostrato come una strategia alimentare adeguata consente di ottenere delle riduzioni di emissioni di gas comprese tra il 2,5 e il 20% e, riduzioni più importanti si possono ottenere dalla combinazione di diverse strategie di miglioramento genetico degli animali, che consentono di migliorare le loro prestazioni produttive, la riduzione delle malattie e l'incremento della fertilità e, l'utilizzo in allevamento di



nuove tecnologie associate a un'adeguata alimentazione facilitano l'efficienza alimentare e aumentano sensibilmente la vita produttiva degli animali (Knapp et al., 2014).

#### 5.1.2. RAZZA

Le caratteristiche intrinseche degli animali e la loro genetica influenzano i livelli produttivi, l'utilizzo di fattori produttivi e i loro impatti ambientali derivanti dall'allevamento. La razza scelta per un allevamento influisce sull'impatto ambientale del singolo animale e della mandria stessa. Il genotipo del singolo animale rappresenta una variabilità importante nell'impatto ambientale dell'allevamento bovino quindi, differenti razze bovine e il tipo di allevamento in cui vengono allevate hanno differenti potenziali di impatto ambientale, riferito principalmente alle emissioni di metano enterico. Le razze sia da carne che da latte, più specializzate, in generale garantiscono un'efficienza produttiva migliore, minore quantità di alimento per Kg di prodotto, una minore perdita di nutrienti e una maggiore produzione. Tuttavia, la scelta di razze meno specializzate, e quindi più rustiche, garantisce una valida produttività anche in zone caratterizzate da una ridotta quantità e bassa qualità di alimenti e condizioni climatiche proibitive (Sturaro et al., 2013).

Nel suo studio Cassandro (2013) ha stimato una riduzione del 10% dell'emissione di metano enterico per Kg di peso metabolico nelle razze da latte locali, come Bruna, Reggiana, Valdostana e Rendena, rispetto alla Frisona come

razza cosmopolita, dovuto principalmente alla minore percentuale di sostanza secca ingerita dalle razze locali. Queste razze producono in genere meno latte delle cosmopolite e, l'impatto ambientale della produzione, viene distribuito su una minore quantità di prodotto; tuttavia, le razze locali vengono spesso allevate con sistemi produttivi caratterizzati da un livello maggiore di sostenibilità ambientale rispetto a quelli di pianura, determinando minori emissioni per Kg di latte prodotto. Infine, è molto importante l'allevamento di razze locali, soprattutto in zone montane e svantaggiate, per la salvaguardia dell'habitat e il paesaggio, cosa che non è garantita da razze cosmopolite ad alta produzione allevate in zone marginali, in quanto la loro bassa rusticità potrebbe determinare eccessivi costi di allevamento (Cassandro, 2013).

Le razze la Frisona e la Jersey sono quelle maggiormente diffuse globalmente ed è molto interessante comparare la sostenibilità ambientale degli allevamenti di queste due razze, anche se spesso vengono allevate insieme. La Frisona è una bovina con una produzione che supera i 30 Kg di latte al giorno, viene allevata principalmente in sistemi intensivi e presenta una bassa rusticità, mentre la Jersey è una bovina di piccole dimensioni, con un quantitativo minore di produzione di latte e presenta una rusticità più spiccata della frisona (Prendiville et al., 2010).

Queste due razze sono state comparate nello studio di Capper e Cady (2012) per analizzare le emissioni di gas serra relative alla produzione casearia. I due ricercatori hanno stimato che, per produrre 0.5 milioni di tonnellate di formaggio, sono necessarie 4,94 milioni di tonnellate di latte prodotto dalla razza Frisona mentre, 3,99 milioni di tonnellate di latte se prodotto dalla razza Jersey. Questo è

giustificato dal fatto che la razza Jersey presenta una maggior concentrazione del latte e questo porta ad una richiesta minore di latte per unità di formaggio. Gli autori però evidenziano come la razza Jersey, avendo una minore produzione di latte, in allevamento richieda una maggiore presenza di capi e di conseguenza aumenti il suo impatto ambientale. A suo discapito, però la Jersey presenta una minore ingestione di sostanza secca rispetto alla Frisona, quindi un minore impatto legato alla produzione di alimento. Inoltre, lo studio dimostrò che allevare bovine Frisone e Jersey con le medesime modalità, la razza Jersey, anche se presenti una minore produzione per capo e quindi necessiti di più capi per produrre una certa quantità di formaggio, ha un impatto ambientale per prodotto minore rispetto alla razza Frisona: questo è dovuto al fatto che il latte della razza Jersey presenta più solidi per unità di latte, dovuto alla minore ingestione di alimento determinando quindi una minore richiesta di energia, acqua e alimenti usati per unità di prodotto e quindi una minore emissione di gas serra. Questo studio dimostra che una riduzione della quantità di latte prodotto per capo non sempre è associata a un aumento dell'impatto ambientale in quanto, una maggior concentrazione del latte prodotto e una minore ingestione alimentare compensano le minori quantità di produzione, determinando una riduzione dell'impatto ambientale per l'unità, il 20% in meno nel caso della razza Jersey (Capper e Cady, 2012).

Uno studio simile fu condotto in Danimarca e confermò l'effetto della razza sulle emissioni di gas serra per Kg di formaggio prodotto. Nello studio gli allevamenti di razza Jersey presentavano per Kg di latte prodotto minori emissioni di gas serra rispetto agli allevamenti di razza Frisona, principalmente grazie alla minore quantità

di ingestione di sostanza secca e in ragione di una maggiore presenza di concentrati per la razza Jersey (Kristensen et al., 2015).

Da questi studi si deduce che in una stalla da latte una buona strategia di genetica determina una ottimizzazione della produttività, e al contempo può minimizzare il numero di animali non produttivi in stalla riducendo le emissioni totali dell'azienda zootecnica (Crosson et al., 2011).

L'idea secondo cui uno strumento per ridurre le emissioni di metano nelle aziende zootecniche è l'intensificazione dei sistemi produttivi, è stata riesaminata da uno studio svolto da Cassandro (2013), il quale ha studiato la questione della valorizzazione dei benefici ambientali che si possono ottenere grazie all'uso delle razze locali rispetto a quelle cosmopolite in una filiera più sostenibile. Lo studio si è infatti concentrato sul confronto delle emissioni più basse di gas effetto serra delle razze bovine locali rispetto a quelle cosmopolite che sono animali con un più basso consumo caratterizzate da un peso corporeo modesto e che utilizzano pascoli sia in grado di fornire alimenti che immagazzinare carbonio. Secondo questo studio le razze locali dovrebbero garantire una diminuzione del 10% di emissioni giornaliere di metano enterico per Kg di peso vivo metabolico rispetto alle razze cosmopolite e l'autore sottolinea che tali fattori dovrebbero essere presi in considerazione nel definire le caratteristiche delle razze locali durante la loro valutazione.

### 5.1.3. NUMERO DEGLI ANIMALI ALLEVATI

Generalmente il numero di animali che costituisce una mandria influenza l'impatto totale dell'allevamento quindi, la numerosità di un allevamento è direttamente legata all'impatto ambientale della stalla. Gli impatti derivanti dall'allevamento bovino da latte sono per più del 50% derivanti dalle vacche in lattazione, cui seguono le manze da rimonta e infine le vitelle, Questo perché la stalla da latte italiana tipicamente presenta un'elevata complessità strutturale dovuta al fatto che la rimonta è generalmente interna e che coesistono animali con diverse età e quindi fabbisogni differenti (Kristensen et al., 2011; Dalla Riva et al., 2015). La presenza minima di animali non produttivi in allevamento è una caratteristica fondamentale in un allevamento efficiente grazie a ridotti i valori del tasso di rimonta, dell'età al primo parto e all'intervallo parto concepimento, anche associate a una bassa mortalità e un alto tasso di vitelle svezzate e un'alta percentuale di nascite.

Quando viene valutato l'impatto ambientale di un allevamento da latte è necessario considerare che molte volte in stalla vi è la presenza di vitelli maschi virgola che vengono venduti a due settimane di vita allevamenti specializzati. Questi vitelli consumano piccole quantità di sostanza secca, tuttavia molte volte le loro emissioni possono raggiungere anche il 10-20% dell'intero allevamento in quanto, viene utilizzato prevalentemente latte in polvere o un suo sostituto per la loro alimentazione e la produzione di questo alimento ha impatti maggiori rispetto a foraggi e mangimi (Dalla Riva, 2013).

Un aumento della produzione per capo fa sì che l'aumento dell'impatto ambientale derivante dalla produzione possa essere diluito su una maggiore unità funzionale e che quindi determini una riduzione dell'impatto. Aumentare l'efficienza della mandria e della produzione per capo prevede un minor numero di animali necessari per produrre una determinata quantità di prodotto e di conseguenza una richiesta di alimento e reflui prodotti minore con minore impatto (Penati et al., 2013).

Tuttavia, una maggiore produzione per capo non sempre è associata ad un impatto minore, infatti, una maggiore produzione per capo richiede un maggior uso di alimenti concentrati, i quali richiedono molti input agronomici, come fertilizzanti sintetici e lavorazioni, e quindi spesso viene registrato un aumento degli impatti (per esempio, *Carbon Footprint*, eutrofizzazione ed acidificazione), specialmente nelle aziende ad alta produzione rispetto ad aziende con una minore produzione per capo (Penati et al., 2013).

Jardine (2012) ha definito come la produzione di metano degli animali dipenda da tre fattori fondamentali che vengono descritti come:

Emissioni totali= numero di animali X longevità dell'animale X emissioni per capo al giorno

Dunque, gli autori sostengono che le emissioni globali di un allevamento possono essere ridotte modificando uno di questi parametri ovvero produrre la stessa quantità di prodotto con un ciclo di vite più breve, ridurre il numero di capi allevati oppure ridurre le emissioni per animale.

Il metano negli allevamenti è un prodotto di scarto che però rappresenta una perdita di energia alimentare che potrebbe essere disponibile per l'animale è variabile dal due al 12%. La produzione di metano è originata sia dalla fermentazione enterica degli animali sia dalla decomposizione di reflui organici animali. Perciò, le emissioni totali di metano possono essere ridotte grazie al miglioramento della produttività degli animali, chi può ridurre anche sensibilmente i costi del settore zootecnico e agricolo.

L'aumento della produttività dell'animale può essere raggiunto aumentando la resa produttiva durante la sua vita produttiva o ottenere le medesime rese in una vita produttiva più breve, hanno l'effetto di ridurre la produzione complessiva di metano per quantità di prodotto ottenuto. Il miglioramento genetico è uno strumento che può essere utile a modificare permanentemente questi parametri e può essere utilizzato efficacemente per ridurre le emissioni perseguendo tre vie fondamentali:

La prima via si basa sull'intensificazione della produzione: è stato dimostrato come grazie a una migliore efficienza animale si può ridurre il numero totale dei capi allevati per soddisfare un determinato livello produttivo, e questo comporta una riduzione dell'8% delle emissioni secondo quanto riportato dallo studio di Jardine (2012). Diversi altri studi dimostrano come da una serie di

caratteristiche produttive di fitness, l'efficienza alimentare può esercitare un impatto positivo sulla riduzione delle emissioni di gas serra nei sistemi zootecnici (Jones et al., 2008; Bell et al., 2011).

La seconda via è basata sul miglioramento dell'efficienza del sistema produttivo tenendo conto delle caratteristiche funzionali, le quali possono ridurre gli sprechi del sistema e di conseguenza le emissioni di GHG. Lo studio svolto da Garnsworthy (2004) riporta una riduzione del 10-11% delle emissioni di metano se viene migliorata la fertilità delle bovine perché questa ha un effetto importante sul tasso di rimonta dell'allevamento, in quanto le scarse prestazioni riproduttive sono associate ad un alto numero di giovani bovine da allevare. Però negli ultimi vent'anni, a livello genetico, il miglioramento della produzione di latte è stato associato a una diminuzione dei livelli di fertilità (Royal et al., 2002). Per la riduzione delle emissioni di metano è vantaggioso l'aumento della produzione di latte per unità di prodotto ma è molto importante che gli effetti negativi di una ridotta fertilità non li neutralizzino, o addirittura non li superano. Pertanto, i caratteri della fertilità, se inclusi in un indice di selezione, dovrebbero essere considerati uno strumento positivo per ridurre l'impatto ambientale tanto quanto nella preservazione della fertilità.



La terza via si basa sulla riduzione delle emissioni di gas serra utilizzando la selezione genetica per ridurre la produzione di metano a livello di singolo animale. Questa via prevede però che ogni animale venga valutato per la sua capacità di emissioni di gas serra. È noto che molti fattori influenzano le emissioni di metano enterico, tra cui l'ingestione alimentare e la composizione della reazione, che comportano alterazioni della microflora ruminale (Chilliard et al., 2009). Recentemente studi genetici sul microbiota ruminale hanno dimostrato che esso svolge un ruolo determinante nella composizione della microflora intestinale e ruminale delle vacche da latte (Garnsworthy et al., 2012). Per assecondare questa via un numero consistente di animali deve essere misurato individualmente per le sue produzioni di metano, che ad oggi è un compito abbastanza arduo in termini di costi e di sforzi nell'ambito dei regolari controlli funzionali in allevamento.

#### 5.1.4. SISTEMA PRODUTTIVO

L'allevamento bovino presenta sistemi produttivi differenti legati principalmente alle condizioni climatiche e topografiche relative alla loro collocazione. Nel 2016 la FAO ha identificato 5 differenti tipi di sistemi produttivi:

1. Sistema intensivo, il quale prevede che gli animali vengano allevati al coperto permanentemente o per gran parte dell'anno, e l'alimentazione si basa prevalentemente su concentrati e foraggi. In questo tipo di sistema vi è un alto grado di input produttivi extra aziendali, un numero

elevato di capi per ettaro, i reflui sono stoccati e utilizzati come fertilizzanti, tipico sistema italiano;

2. Sistema intensivo, il quale prevede che gli animali siano liberi al pascolo recintato per quasi tutto il ciclo produttivo. La razione è prevalentemente composta da erba da pascolo, foraggi e concentrati. Tipico sistema del Nord America, Sudamerica, Nord Europa e Sud Africa
3. Sistema estensivo, che prevede che gli animali pascolino in pascoli collettivi cibandosi prevalentemente di piante e alberi presenti nei pascoli, sistema tipico del Nord e Sud America, Asia, Africa e Oceania;
4. Sistema estensivo, il quale prevede che gli animali siano integrati a cicli di coltivazione e forestazione di cereali, come la soia;
5. Sistema intensivo di larga scala con produzione integrata verticale dove un'alta densità di animali vengono alimentati con cereali e allevati in recinti al coperto o all'esterno. Sistema tipico per gli allevamenti di bovini da carne degli Stati Uniti d'America e vitelli a carne bianca in Italia.

Se si comparano sistemi intensivi ed estensivi, molto rilevante è l'impatto che questi hanno verso la biodiversità, e l'influenza che l'allevamento bovino ha sulla biodiversità ambientale può essere positiva, come in presenza di sistemi

estensivi in cui il carico animale per ettaro non è elevato e in cui si fa un buon uso di pascolo e di foraggi; le caratteristiche di questo sistema tendono a favorire l'esistenza di diverse specie vegetali e animali all'interno del sistema produttivo e una loro salvaguardia e implementazione che è facilmente realizzabile rispetto a sistemi intensivi (Idf, 2010).

Mentre, la biodiversità è maggiormente danneggiata nel contesto di un allevamento intensivo nel quale l'alto carico di animale per ettaro, l'alto uso di input produttivi chimici come fertilizzanti sintetici, e la bassa variabilità culturale, perché favorisce poche tipologie di colture come la soia, il mais e l'erba medica, portano ad una perdita di habitat naturali e una perdita di biodiversità in essi contenuta (Guerci et al., 2013b; Idf, 2010).

In Italia sono maggiormente presenti sistemi di allevamento intensivi dei bovini da latte nei quali, specialmente negli ultimi decenni, si è intensificata la produzione per capo; attualmente sono incrementati gli animali per unità di suolo e tendenzialmente sono aumentati gli usi di alimenti concentrati nella razione associate al miglioramento genetico della razza trasformandolo in razze altamente specializzate nella produzione di latte (Bava et al., 2014).

Generalmente i sistemi da latte estensivi hanno una minore produttività per capo ma anche una minor produzione su cui distribuire le emissioni. Una maggiore produzione per capo richiede anche meno capi per raggiungere il livello atteso di produzione, tuttavia, spesso animali troppo produttivi sono anche animali molto deboli che richiedono un numero più alto di capi da rimonta, peggiorando molto le performance ambientali. Un report della FAO del 2010 stimò che a livello

mondiale vi fosse un'intensità maggiore di emissioni per Kg Ecm in sistemi di allevamento con più del 10% della sostanza secca ingerita e prodotta a livello aziendale, in cui il carico animale per unità di superficie non era elevato e si trovava in zone aride-umide del mondo. Infatti, il report FAO ha riconosciuto come questi sistemi produttivi abbiano una minore produzione di latte in confronto a sistemi in cui vengono utilizzati più alimenti concentrati, tipicamente presenti nelle zone temperate del mondo. Questi risultati hanno ribadito come in sistemi più intensivi di allevamento di bovine da latte le emissioni per unità di prodotto diminuiscono data la maggior produttività del sistema stesso (Stefanon et al., 2018b).

Per quanto riguarda il consumo energetico legato alla produzione del latte, nei sistemi di allevamento intensivi il maggior consumo si verifica al di fuori dell'azienda agricola, legato alla produzione di alimenti concentrati i quali compongono una frazione abbastanza rilevante della razione delle bovine. L'allevamento estensivo risulta opposto per quanto riguarda il consumo energetico in cui la produzione di foraggi, e le attività in stalla assorbono la maggior parte della domanda energetica (FAO, 2010; Idf, 2009).

Un'ulteriore sistema di allevamento da latte è quello situato in zone montane, il quale presenta mediamente dei parametri di impatto ambientale leggermente superiori ai sistemi di allevamento intensivo di pianura, generalmente spiegabile da una minore produzione per capo e un'efficienza produttiva minore dovuta alle caratteristiche ambientali in cui questo tipo di allevamento si svolge. Tuttavia, allevamento tipico delle zone montane comporta innumerevoli vantaggi

ambientale come i servizi ecosistemici virgola che hanno un altissimo valore per la tutela ambientale (Sturaro et al., 2013).

In uno studio svolto nel 2013, Penati, stimò che le aziende alpine con un basso livello di produttività per capo erano anche quelle con maggiori impatti ambientali. Questo imputabile al fatto che le aziende da latte montane generalmente presentano un maggior consumo di suolo rispetto agli allevamenti intensivi di pianura, a causa degli ettari di suolo usati come pascolo. Tuttavia, i pascoli montani, oltre a contribuire direttamente alla produzione del latte, sono fondamentali per la salvaguardia della biodiversità, della qualità paesaggistica e preservazione del suolo da erosione, quindi, se un volume abbastanza alto di suolo viene usato per produrre Kg di latte nelle zone montane potrebbe infine risultare in miglioramento dal punto di vista della sostenibilità. Infatti, gli autori sottolineano che un numero di bovini ettaro basso può favorire una riduzione di acidificazione ed eutrofizzazione per ettaro, grazie anche ha un'ottima gestione del pascolo, alla loro turnazione e un corretto carico animale per ettaro. Un sistema produttivo montano di tipo sostenibile può essere impostato utilizzando il pascolo nei mesi estivi, soprattutto in caso di animali giovani e poco produttivi, cosicché questi animali gravino meno sull'uso di particolari alimenti, come concentrati, e che le vacche in produzione continuino a mantenere altri livelli produttivi grazie all'uso di una dieta più ricca di energia (Penati et al., 2013).

Infine, un altro sistema di allevamento, che sta prendendo molto piede nel Nord America e anche in Italia (Rosati e Aumaitre, 2004), è il sistema biologico, il

quale può avere sia ricadute positive come pure negative verso l'ambiente nello stesso momento.

Un rapporto svolto nel 2009 dall'Idf evidenziò l'esistenza di una bassa differenza di emissioni di GHG tra sistemi di allevamento biologici e convenzionali in quanto, se da un lato un sistema biologico richiede meno fertilizzanti e concimi sintetici quindi, una riduzione delle emissioni associata a queste fasi, dall'altro lato presenta in generale un livello di produzione per capo minore rispetto a un sistema convenzionale. Nel report è stata anche riscontrata un'emissione di metano leggermente maggiore in stalle biologiche da latte rispetto alle convenzionali, a causa principalmente di una razione con una minor percentuale di concentrati a favore di foraggi. Il grado di acidificazione è risultato, nelle stalle convenzionali maggiore quando l'impatto viene espresso per ettaro, mentre un Kg di latte biologico presenta un grado di acidificazione minore di un Kg di latte convenzionale. Questa differenza deriva dalla produttività aziendale, che viene espressa come Kg latte per ettaro, che maggiore in stalle da latte convenzionali. Questo fa capire come è importante sia la scelta e l'interpretazione dell'unità funzionale perché critica nella stima degli impatti ambientali (Idf, 2009).

Per quanto riguarda il consumo del suolo, questo risulta maggiore in stalle da latte biologiche in quanto, questo tipo di produzione richiede un maggior volume di suolo per raggiungere le stesse rese produttive per ettaro delle coltivazioni convenzionali (Guerci et al., 2013b).

Tuttavia, in molte ricerche i risultati di impatto ambientale del metodo biologico e convenzionale sono molto discordanti: nel suo studio Williams (2006)

determinò un maggior livello di *Carbon Footprint*, acidificazione, eutrofizzazione e uso del suolo per gli allevamenti a sistema biologico rispetto ai sistemi convenzionali, mentre Cederberg e Mattsson (2000) stimarono dei valori di *Carbon Footprint*, acidificazione e uso di energia minori nel sistema biologico rispetto al convenzionale, mentre registrarono una situazione completamente opposta per quanto riguarda livelli di eutrofizzazione, uso del suolo e formazione di composti ossidanti.

#### 5.1.5. GESTIONE DEI REFLUI

I reflui zootecnici, il loro utilizzo e il loro trattamenti rappresentano una tra le principali cause di impatto ambientale legate al settore bovino. La tipologia, liquame o letame, la gestione, la qualità, il trattamento e il sistema di stoccaggio dei reflui influenza direttamente le emissioni di metano e perossido di azoto ( $N_2O$ ) (Guerci, 2012). La FAO in un rapporto ha evidenziato come un'ottima gestione dei reflui prodotti in allevamento può contribuire in maniera significativa all'aumento della sostenibilità ambientale: un'ottima gestione e una frequente rimozione dalla lettiera e una pulizia della stalla può ridurre le emissioni di metano e di  $N_2O$ , lo stoccaggio e la separazione solido liquida possono ridurre le emissioni di metano,  $N_2O$  e ammoniaca, ed un eventuale conversione in energia termica ed elettrica, tramite digestione anaerobica, possono ridurre sensibilmente le emissioni.

La produzione di biogas da reflui zootecnici rappresenta una buona strategia per ridurre le emissioni per l'unità funzionale di carne e latte (FAO, 2010).

La produzione di biogas, e di conseguenza energia termica ed elettrica grazie alla fermentazione anaerobica di letame liquame, è associato ad una diminuzione degli impatti per Kg di Fpcm, e l'utilizzo del digestato come fertilizzante può ridurre ulteriormente gli impatti ambientali legati alla produzione e all'utilizzo di fertilizzanti (Nguyen et al., 2010).

Uno studio svolto da Battini (2014) ha dimostrato come una riduzione di circa del 40% delle emissioni di gas serra e dell'8% dell'eutrofizzazione sono ottenibili se i reflui bovini vengono trattati con fermentazione anaerobica rispetto al loro stoccaggio in vasca e utilizzati come fertilizzanti. Gli autori sottolineano che l'utilizzo di un digestore anaerobico in azienda zootecnica nel suo complesso rappresenta una diminuzione degli impatti rispetto a un tradizionale stoccaggio e spandimento dei reflui nei terreni aziendali. Inoltre, la produzione di energia termica ed elettrica determina una diretta riduzione dell'uso di energia dalla rete nazionale, la quale è spesso di fonte fossile con livelli di impatto ambientale molto alto nella sua produzione e d'uso (Nguyen et al., 2010).



#### 5.1.6. CONCLUSIONI PRELIMINARI

Per quanto riguarda l'allevamento di bovine da latte le principali strategie di mitigazione che si possono adottare per ridurre l'impatto ambientali nella fase di allevamento sono: la produttività per capo, l'indice di conversione alimentare, i parametri produttivi e riproduttivi, la salute e il benessere degli animali, le emissioni derivanti dagli alimenti, le emissioni di metano enterico e di metano e perossido d'azoto da reflui (FAO, 2010). Un' allevamento da latte efficiente e produttivo è una stalla nella quale ogni animale è produttivo e in cui gli animali più giovani che sono ancora improduttivi perché nella fase iniziale della loro vita, gravano il meno possibile sulle performance ambientali ed economiche dell'allevamento (Crosson et al., 2011).

L'aumento dell'efficienza produttiva della mandria e del sistema di allevamento come, per esempio la produzione per capo, l'efficienza di conversione alimentare e il numero di capi per ettaro, risultano però essere negativamente correlati con l'impatto ambientale per Kg di latte prodotto (Bava et al., 2014). Tuttavia, sono state anche mostrate correlazioni positive tra impatto ambientale per ettaro e aumento dell'intensità del sistema produttivo (Guerci et al., 2013a; Bava et al., 2014).

Data la previsione a livello mondiale dell'espansione del settore bovino, è necessario attivare misure correttive che possano ridurre gli impatti ambientali e garantire il mantenimento di un ottimo livello produttivo. Sia a livello locale che globale la comunicazione tra ricerca e settore produttivo agricolo deve aiutare a portare innovazione in un settore caratterizzato da un'elevata multifattorialità ed

estrema eterogeneità. Gli allevatori, in primis, svolgono un ruolo fondamentale nella realizzazione e traslazione verso una produzione bovina più sostenibile e per questo dovrebbero essere aiutati alla conversione delle proprie aziende verso sistemi più sostenibili.

La guida dell'Idf (2010) propone quattro possibili linee di azione che possono essere intraprese in modo globale per poter portare la produzione zootecnica bovina futura verso una maggiore sostenibilità e attenzione all'ambiente:

- a. Il miglioramento dell'efficienza di utilizzo delle risorse naturali utilizzate nel settore dell'allevamento, migliorare tecniche produttive, logistiche e di distribuzione delle produzioni agronomiche e in allevamento;
- b. L'intensificazione dell'allevamento è un evento futuro inevitabile e, per assecondare in maniera adeguata questa situazione, è necessario intervenire per rendere questa intensificazione ambientalmente sostenibile, identificando giuste località geografiche per l'allevamento, come zone rurali dove sono presenti spazi sufficienti per produrre alimenti e per gestire i vari flussi di emissioni e nutrienti, sviluppare misure di controllo e riciclo dei reflui e residui colturali, sviluppando tecnologie innovative in allevamento e fare scelte migliori anche nelle fasi di trasformazione, distribuzione e consumo;

- c. In futuro i sistemi di allevamento estensivi continueranno a esistere ma è necessario che vengano indirizzati primariamente alla realizzazione di servizi all'ambiente, soprattutto in aree svantaggiate e vulnerabili dal punto di vista del degrado ambientale. È fondamentale quindi lo sviluppo di politiche favorevoli per il mantenimento del paesaggio, della protezione della biodiversità, della salvaguardia di risorse idriche e del suolo e del suo ruolo di sequestro della CO<sub>2</sub>;
  
- d. In funzione di un sistema zootecnico più sostenibile è necessario incrementare lo studio, la ricerca, l'innovazione, le politiche legate alla sostenibilità del settore zootecnico, sia a livello locale che internazionale. Studiare i principali contribuenti all'impatto ambientale, determinare i migliori sistemi di mitigazione e stabilire i futuri sistemi per ridurre il rischio ambientale.

Le produzioni animali, più in particolare le produzioni bovine, sia destinate a carne come pure a latte, presentano grandissime potenzialità di miglioramento finalizzate alla mitigazione dei cambiamenti climatici. Per la realizzazione di questo potenziale sono necessarie nuove iniziative a livello nazionale ed internazionale quali: la promozione della ricerca e lo sviluppo di nuove tecnologie di mitigazione, finanziamenti delle attività zootecniche, diffusione di nuove tecnologie per mitigare le emissioni di GHG e migliorare le capacità per monitorare, registrare e verificare le emissioni derivanti dall'allevamento. La nuova direzione del settore zootecnico dovrebbe tendere verso la salvaguardia dell'ambiente e verso un settore zootecnico

sostenibile, limitando la produzione, fondamentalmente, di gas ad effetto serra. La selezione genetica può rappresentare una strategia efficace e duratura nel tempo, oltre che economica, capace di ridurre le produzioni enteriche di metano e di conseguenza in grado di diminuire le emissioni dei GHG. In conclusione, nel prossimo futuro è essenziale dedicare la maggioranza degli sforzi politici e strategici alla ricerca in questo settore per poter sperimentare nuovi strumenti e definire nuovi parametri valutativi relativi alle emissioni ambientali (Stefanon et al., 2018b).

## 5.2. SOSTENIBILITÀ DELLE PRODUZIONI OVINE E CAPRINE

In genere gli allevamenti dei piccoli ruminanti sono di tipo estensivo o semi estensivo. Esistono i presupposti, nel caso degli ovi-caprini, che essi, grazie alle loro caratteristiche, possono sfruttare in modo efficiente i territori difficilmente dedicabili alla produzione di cibo per l'uomo e a sfruttarli in modo, soprattutto rispetto ai cambiamenti climatici in atto, migliori rispetto alle altre specie di animali di interesse zootecnico (Silanikove, 2000a, 2000b). Nello specifico, i caprini, nel tempo hanno sviluppato comportamenti adattativi fondamentali nei confronti degli stress ambientali, inclusi quelli associati ai cambiamenti climatici come: una minore massa corporea, una minore richiesta di acqua, abilità nella selezione di parti più nutrienti delle piante, un'elevata capacità di riciclaggio dell'area salivare, la capacità di modificare in modo morfo-funzionale l'apparato digerente per adattarsi ai periodi di siccità alimentare e di acqua (Silanikove e Koluman, 2015). Queste caratteristiche

ci evidenziano l'importanza dell'allevamento estensivo dei piccoli ruminanti per il mantenimento dell'attività agricola in quei territori dove altre forme di produzione non sono praticabili.

#### 5.2.1. ALIMENTAZIONE

La sostenibilità zootecnica, nel caso degli ovicaprini, è legata prettamente ai nutrienti azotati, e può essere distinta in due aspetti principali, che riguardano il processo biologico della trasformazione dell'azoto inorganico in prodotti di origine animale. Il primo aspetto riguarda l'efficienza dell'uso dell'azoto, indice della capacità di utilizzazione le risorse naturali e, il secondo aspetto riguarda l'inefficienza nell'uso dell'azoto, che viene quantificata come impatto ambientale delle escrezioni azotate e dei composti atti alla contaminazione di suoli e acque, e alle emissioni di GHG. Entrambi questi aspetti sono legati, a livello animale, da meccanismi fisiologici e nutrizionali, a livello aziendale e territoriale, a fattori gestionali. L'efficienza di utilizzazione dell'azoto nei piccoli ruminanti è considerata abbastanza bassa a causa di una limitata ritenzione nei prodotti animali, latte, carne e lana virgola che varia dal 5% al 20% (Arogo et al., 2001; Allard et al., 2003; Flachowsky e Lebzien, 2006).

Gli aspetti interessanti nei confronti della sostenibilità delle produzioni ovicaprine, nell'ambito delle escrezioni azotate, riguardano il fatto che in confronto ai bovini, i piccoli ruminanti hanno una mole minore ma un più elevato fabbisogno

di sostanza secca e di proteina grezza per unità di peso corporeo il che porta ad avere più elevate escrezioni azotate per Kg di peso corporeo (Cannas, 2004).

Nel complesso, gli ovicaprini, rispetto ai bovini, hanno un differente comportamento alimentare e una capacità digestiva minore, inoltre sono animali più selettivi e, a parità di dieta, possono selezionare al pascolo parti di pianta o componenti della razione, se alimentata in stalla, più ricchi di proteina grezza (Van Soest, 1994). Inoltre, l'efficienza di utilizzazione della proteina metabolizzabile è più bassa nelle pecore rispetto alle capre. Questo suggerisce che nelle pecore, a parità di quantitativo di proteine nel latte, le perdite di azoto sono maggiori (Bocquier et al., 1987).

La quantità di azoto escreto individualmente nei caprini e negli ovini, sebbene di modesta entità, può essere elevato specialmente se viene rapportato all'unità di peso animale e di prodotto, in confronto a quella di altre specie più produttive come i bovini. Questo spesso è dovuto all'eccesso di proteina nella razione, principalmente azoto solubile, e allo squilibrio energia/proteina che i ruminanti riscontrano durante il pascolamento, specialmente nel periodo autunno-invernino, nelle aree mediterranee, e primaverile-estivo nelle aree continentali e alpine. Tra le principali strategie che si possono utilizzare a livello aziendale per gli ovicaprini al pascolo sono: la modulazione del rapporto energia proteina della dieta, la corretta integrazione del pascolo e modulatori della flora ruminale che possono avere anche azioni positive sul lungo periodo.

La normale base alimentare, nel caso degli ovini, è costituita da pascoli naturali e pascoli coltivati annuali o poliennali. Per l'ottimizzazione della produzione

di latte e performance riproduttive degli ovini è essenziale integrare l'alimentazione per colmare i deficit nutritivi apportati dall'erba nel periodo dell'anno, specialmente in inverno, in cui lo sviluppo del pascolo è limitato o nullo. L'integrazione alimentare può essere costituita da foraggi conservati, fieni o insilati, e concentrati, preferibilmente efficienti, economici e con un basso impatto ambientale.

Specialmente nella fase di inizio e metà lattazione, i concentrati sono fondamentali nell'integrazione alimentare della pecora per consentire un adeguato supporto alla lattazione. Le granelle di cereali e leguminose, che sono concentrati semplici, sarebbero da privilegiare se vengono prodotti nell'azienda stessa e consentono una valida rotazione dei terreni arabili e il pascolamento invernale di cereali e residui post raccolta dei cereali e delle granelle di leguminose (Landau et al., 2000).

Nello specifico, nei primi tre mesi di lattazione, è preferibile somministrare alle pecore concentrati ricchi di amido, come orzo, mais o triticale, rispetto a quelli a base fibrosa (Cabiddu et al., 2006, 2008; Cannas et al., 2013) per favorire il metabolismo che è orientato a favore la secrezione latte. Nella fase intermedia di lattazione invece è preferibile il contrario, infatti, concentrati ricchi di amidi e zuccheri in questa fase consentono di migliorare l'utilizzo di azoto (N) solubile assunto con l'erba giovane, ed è possibile ridurre le emissioni di metano (CH<sub>4</sub>) (Hristov et al., 20013).

Nella fase della gravidanza l'uso di sottoprodotti industriali locali, come i sottoprodotti dell'industria olearia, può ridurre i costi imputabili all'alimentazione e

favorire il riciclo di biomasse altrimenti difficili da smaltire (Cabiddu et al., 2004; Laconi et al., 2007).

La dieta normalmente fornita alle capre è costituita spesso per più del 60% da specie legnose (Kababya et al., 1998; Perevolotsky et al., 1998). Il sistema più diffuso utilizzato nell'allevamento delle capre è quello estensivo con pascolo naturale. In questo tipo di pascolo è molto importante gestire il pascolamento degli animali per la loro tendenza a concentrarsi su aree specifiche, la quale tendenza determina un uso disomogeneo della vegetazione e un peggioramento delle funzioni ecologiche di questi territori (Paz-Kagan et al., 2016). Un buono strumento, per gestire meglio il pascolamento delle capre, è la zootecnica di precisione, che consente di monitorare il comportamento animale e la dislocazione durante il pascolamento, e può essere anche utilizzata per capire meglio i loro movimenti e contrastare questi fenomeni (Arnon et al., 2013).

Uno dei fattori più limitanti che viene riscontrato nei pascoli di questa tipologia è la proteina, principalmente imputabile al fatto che le piante presenti sono caratterizzate da tenori proteici medio-bassi e da livelli di tannini elevati (Cabiddu et al., 2000). È quindi essenziale ricorrere all'integrazione alimentare con foraggi conservati o con concentrati e, l'inclusione di concentrati nelle diete dei caprini, determina un aumento di ingestione quando la disponibilità del pascolo è limitata, e aumenta la digeribilità della razione se la qualità del pascolo è bassa.

In generale, una riduzione del rapporto foraggio/concentrati nella dieta riduce la produzione enterica di metano (CH<sub>4</sub>) (Lima et al., 2016) con effetti più evidenti su capre con livelli produttivi elevati. In uno studio svolto da Islam (2000a,



2000b), gli autori hanno osservato che l'aggiunta di granella di mais, che è un amido a lenta digeribilità, nella dieta delle capre determina un miglioramento dell'utilizzazione della proteina con una minore escrezione di azoto nelle urine.

Altri autori hanno evidenziato che, con l'introduzione di tannini nella dieta, si può ottenere una riduzione delle emissioni di metano nei caprini ma, l'utilizzo di tannini può ridurre la digeribilità della proteina e aumentare di conseguenza le perdite di azoto fecale, che tuttavia possono essere controbilanciate da una minore escrezione di azoto urinario, che è maggiormente responsabile dell'inquinamento ambientale (Sliwinski et al., 2004).

Anche nel caso delle capre, l'utilizzo di sottoprodotti locali per l'integrazione alimentare può essere considerata un'ottima opportunità dal punto di vista ambientale. In un esperimento svolto in Tunisia da Ben Salem (2000), sono stati forniti alle capre blocchi realizzati con crusca di grano, farina di grano, sottoprodotti dell'industria olearia, aurea, sale e un materiale inerte come integratore alimentare, ad un gregge di capre che venivano alimentate con essenze arbustive ricche di tannini. I blocchi alimentari sono stati anche utilizzati come strumento per modificare i circuiti delle capre sul pascolo in modo da evitare il sovraccarico di alcune aree con minore disponibilità di biomassa e incrementare quindi l'ingestione degli alimenti presenti in aree più chiuse e meno utilizzate dagli animali.

In conclusione, l'integrazione alimentare, sia di capre che di pecore, dovrebbe basarsi su foraggi di buona qualità e concentrati prodotti in azienda, o nella stessa regione, nell'ottica della riduzione degli impatti ambientale

dell'allevamento. L'utilizzo della zootecnica di precisione potrà, in futuro, essere d'aiuto per rendere più efficiente, sostenibile ed economico l'uso dell'integrazione alimentare negli allevamenti semi intensivi, e si spera, anche in quelli estensivi i quali sono basati maggiormente sul pascolo (Stefanon et al., 2018b).

#### 5.2.2. GESTIONE DEI REFLUI

La produzione giornaliera di feci nei piccoli ruminanti, in termini di sostanza secca, è correlata positivamente con la sostanza organica ingerita e la sostanza secca, e negativamente con la sua digeribilità, mentre nel caso della produzione dell'urina questa dipende in gran parte dalla quantità di acqua consumata. L'azoto totale escreto è invece direttamente proporzionale l'azoto ingerito e tende a diluirsi in base alla quantità delle deiezioni. Per un'adeguata valutazione dell'impatto ambientale degli allevamenti ovicapri è molto importante conoscere, non solo la quantità totale di azoto escreto, ma anche la sua ripartizione tra feci e urine e le sue diverse forme chimiche che caratterizzano ciascuna classe di deiezioni.

In presenza di razioni proteiche bilanciate, l'azoto escreto tende ad avere una ripartizione omogenea tra feci e urine, ed è presente una relazione negativa tra ingestione di sostanza secca e le escrezioni urinarie di azoto, poiché il riciclo dell'urea aumenta con l'aumentare dell'ingestione di energia (Sarraseca et al., 1998).

Il problema ambientale riguardo le escrezioni azotate degli ovicapri è che, l'azoto presente in urina è ricco di urea, la quale si degrada in poche ore in

ammoniacca (Muck, 1982; Arogo et al., 2001), e si deposita nel suolo e nelle acque dando origine ad emissioni indirette di ossido di azoto. L'azoto presente nelle feci invece, è a lenta mineralizzazione.

### 5.2.3. PASCOLO

L'allevamento di ovini e caprini al pascolo è ritenuto un sistema agricolo a basso input, l'impatto ambientale rispetto a sistemi intensivi e industriali, in determinate condizioni ambientali, è anche in grado di fornire una vasta gamma di servizi ecosistemici. Tuttavia, esso può anche attuare dei disservizi ecosistemici più o meno marcati a seconda della modalità di gestione degli animali al pascolo, del contesto pedoclimatico e delle pratiche agricole.

La denominazione Lfas (*Less favoured areas*), nell'Unione Europea, è identificativa di aree poco favorevoli di montagna o collina con difficoltà nella coltivazione di piante di interesse agrario, principalmente a causa di siccità, clima caldo o stagioni di crescita brevi (Eea, 2004). In queste zone gli allevamenti dei piccoli ruminanti sono molto diffusi, essendo animali in grado di sfruttare al meglio le peculiarità delle zone marginali, ed essendo gli allevamenti zootecnici ovicaprini strutture in grado di sfruttare queste zone tramite la conduzione di aziende estensive, con l'uso moderno di fertilizzanti e pesticidi e ricorrendo ad un basso uso dell'acqua per l'irrigazione (Cosentino et al., 2014; Porqueddu, 2008).

L'allevamento degli ovini utilizza soprattutto pascoli naturali, seminaturali o coltivati. Nel primo e secondo tipo di pascolo la produttività è minima, anche

riguardo le specie di piante non commestibili per gli animali ma, la situazione di questi pascoli può migliorare utilizzando fertilizzanti una volta l'anno e tramite interventi di trasemine, soprattutto leguminose, che possono migliorare la produzione qualitativa e quantitativa di queste zone (Porqueddu e Gonzales, 2006). Facendo ciò si possono costituire pascoli migliorati, denominati prati-pascolo (PP) che rappresentano, nel loro complesso, ecosistemi più efficienti nel sequestro di CO<sub>2</sub> atmosferica e nello stoccaggio di carbonio (C) nel suolo. Gli ecosistemi dei PP svolgono un ruolo importante nel contenimento delle emissioni di GHG grazie alle loro funzioni chiave nei servizi ecosistemici come: la regolazione del ciclo dei nutrienti, la stabilizzazione strutturale dei suoli e il bilancio idrico.

Per quanto riguarda l'allevamento caprino da latte, si possono distinguere tipi di allevamento: il primo è il sistema estensivo molto diffuso nelle zone marginali e si caratterizza per l'utilizzo di pascoli naturali e l'allevamento di razze autoctone con un livello produttivo medio basso, ma ben adattate all'ambiente le grado di trasformare risorse naturali di basso valore nutritivo di prodotti di elevata qualità. Il secondo e il terzo tipo di allevamento, sistema semi intensivo e il sistema intensivo, sono caratterizzati dall'utilizzo di razze più specializzate e produttive e un maggior uso di alimenti secchi e conservati (Usai et al., 2006).

Gli impatti ambientali del pascolo ovicaprino sono riconducibili a tre categorie principali: impatti sul suolo (erosione, compattamento e perdita di fertilità), sulle acque (lisciviazione e ruscellamento di nutrienti da deiezioni animali) ed emissioni aeree di GHG.

In riferimento agli impatti sul suolo il fenomeno, nei sistemi agro zootecnici, è principalmente legato a tecniche culturali per la coltivazione dei pascoli e prati ma anche alla gestione degli animali allevati, in particolare riguardo al carico degli animali per unità di superficie pascolata. Un sovraffollamento è noto essere un fattore determinante dell'aumento del rischio di erosione ed è quindi fondamentale che la durata, il carico degli animali e il sistema di pascolamento siano commisurati alla capacità portante del pascolo stesso. Sono presenti vari studi che hanno messo in luce gli effetti benefici sui tassi di erosione della presenza del pascolo, rispetto alla coltivazione di colture annuali al fine di ridurre la degradazione del suolo. Questo meccanismo si basa sulla limitazione del ruscellamento, grazie a un rallentamento dell'acqua per la presenza di vegetazione che la trattiene, e alla riduzione della quantità di suolo in sospensione. Anche la conversione di pascoli in aree coltivate è uno dei principali fattori dell'incremento dell'erosione e del ruscellamento a livello europeo (Souchère et al., 2003).

Per quanto riguarda il contributo dei pascoli alle emissioni antropiche di gas serra e all'emissione derivante dagli animali allevati, è stato ampiamente dimostrato come il pascolo abbia la capacità di sequestrare il carbonio atmosferico (CO<sub>2</sub>) nella sostanza organica del suolo grazie alle attività fotosintetica delle piante, garantendo una compensazione delle emissioni di carbonio (Soussana et al., 2004; Meyer et al., 2016). Infatti, il sequestro di carbonio da parte del pascolo è riconosciuto come un meccanismo di mitigazione per le emissioni di gas serra in agricoltura, poiché una grande quantità di biomassa vegetale è a livello radicale, al contrario di quanto accade nei sistemi arativi (Jones e Donnelly, 2004). Uno studio

svolto nel 2016 in Australia ha messo in luce, studiando il bilancio netto di GHG di un pascolo utilizzato da gregge di pecore, che il sequestro totale di carbonio nel suolo riesce a compensare tra il 4% e l'86% delle emissioni di metano (CH<sub>4</sub>) derivanti dalla fermentazione enterica e quelle di perossido d'azoto (N<sub>2</sub>O) dal suolo (Meyer et al., 2016).

### 5.3. SOSTENIBILITÀ DELLE PRODUZIONI SUINICOLE

#### 5.3.1. DUE POSSIBILI SCENARI

L'aumento della produzione di diverse specie zootecniche per la produzione di carne, come risposta all'aumento della popolazione mondiale, è riferito maggiormente alla carne di pollo e maiale ([www.fao.org](http://www.fao.org)). Il consumo di carne contribuisce alla fornitura di proteine, energia e importanti micronutrienti alla catena alimentare umana (De Smet e Vossen, 2016) tuttavia, nonostante questi benefici, l'aumento del numero di animali allevati sfida direttamente la sostenibilità della produzione zootecnica poiché si traduce in profonde conseguenze per la nostra terra. L'obiettivo dell'Unione Europea per le produzioni animali è di rafforzare la competitività e la redditività economica dei sistemi produttivi, migliorare l'adattamento del bestiame alle malattie e modelli meteorologici sempre più estremi associati al cambiamento climatico, risolvere i problemi legati alla qualità dell'aria, le emissioni di gas effetto serra e i cambiamenti climatici, degrado delle risorse naturali, perdita di biodiversità e sicurezza alimentare

(<https://cordis.europa.eu/it>). Ne consegue che le implicazioni negative delle produzioni zootecniche possono essere mitigate attraverso il miglioramento della sostenibilità delle procedure agricole, e la sostenibilità della produzione zootecnica può essere migliorata con un aumento dell'efficienza produttiva per animale, mediante selezione genetica e zootecnica di precisione (Pomar e Remus, 2019).

Uno studio svolto da Rauw (2020), sulle prospettive di sostenibilità della produzione suinicola in relazione ai cambiamenti climatici e alle nuove risorse di mangimi, ha proposto una panoramica composta da due scenari: il primo si fonda sulla sostenibilità della produzione suinicola attraverso l'intensificazione agricola con sistemi ad alto input e alto rendimento, il secondo scenario si fonda sulla sostenibilità della produzione suinicola con un input ridotto e sistemi di output ridotti.

Il primo scenario si basa sull'intensificazione sostenibile, massimizzando l'efficienza della produzione di proteine animali su una limitata superficie terrestre minimizzando gli impatti ambientali. Questo si ottiene attraverso l'allevamento di precisione, con l'utilizzo di animali selezionati per il loro massimo potenziale di produzione, alimentati con colture geneticamente migliorate prodotte attraverso metodi di produzione migliorati, e attraverso il costante monitoraggio di possibili malattie e del livello di benessere animale dell'allevamento.

Per quanto riguarda l'ottimizzazione del processo di produzione, Godfray (2010) afferma che: “la differenza tra produttività realizzata e il meglio che può essere ottenuto utilizzando il materiale genetico attuale e le tecnologie con la gestione disponibile è definita “gap di resa”, cioè la differenza tra le rese osservate

e le potenziali rese delle colture, e del bestiame, in un determinato luogo". Può esistere quindi un divario di resa a causa di una discrepanza tra la tecnologia disponibile, acqua, nutrienti, terra, biodiversità e lavoro e il loro uso ottimale in base all'accessibilità, l'influenza del mercato e alla conoscenza. Se non si considerano le rese effettive delle colture, queste stanno già approssimando le loro rese massime possibili in alcune regioni del mondo, e una migliore diffusione delle varietà colturali già esistenti con un miglior sistema di gestione potrebbe aumentare significativamente le rese in molte zone del mondo, in particolare in Africa, l'America Latina ed Europa orientale (Neumann et al., 2010; Rauw et al., 2020).

Lo sviluppo e l'utilizzo del miglioramento genetico è la chiave per uno sviluppo in linea con il primo scenario proposto dagli autori. Le moderne razze suine utilizzate nascono nel diciannovesimo secolo da una combinazione genetica tra suini europei e asiatici che vennero geneticamente migliorate quando gli allevamenti suinicoli cominciarono a svilupparsi dopo il 1945 (Amills et al., 2010). Dalla fine degli anni '70 è diventata una pratica comune utilizzare suini ibridi da ingrasso che hanno migliorato la produzione grazie alla loro robustezza e alla complementarità delle razze (FAO, 2007). Le razze utilizzate come linea paterna erano selezionate per i tratti di produzione (crescita, qualità della carcassa ed efficienza di conversione alimentare), mentre la selezione della linea materna si concentrava anche sui tratti riproduttivi (figuratività, pubertà, numero di nati). La selezione per l'efficienza di conversione alimentare è un fattore particolarmente rilevante per supportare un aumento dei livelli di produzione, soprattutto in uno



scenario di risorse ridotte, riducendo l'energia necessaria per la produzione di mangimi e riducendo al contempo le escrezioni animali.

I livelli genetici migliorati per una maggiore produttività su uno spazio limitato, richiedono però una maggiore qualità, se non quantità, di input. Infatti, un miglioramento della produzione agricola richiede irrigazione, fertilizzanti, macchinari, prodotti per la protezione delle colture e il controllo dei parassiti, delle infestazioni, oltre che misure di conservazione del suolo (Godfray et al., 2010). Gli aspetti negativi di questi sistemi di produzione con elevati input esterni sono state ampiamente descritte da Gredory (2002), il quale sottolinea come risvolti negativi: perdite di nutrienti dall'utilizzo di fertilizzanti chimici e concimi in corsi d'acqua e produzione di gas serra che contribuiscono direttamente ai cambiamenti climatici. Ciò solleva molti interrogativi sulla sostenibilità e le potenziali conseguenze ambientali dei futuri sistemi di produzione e sulla necessità di concentrarsi su un'intensificazione sostenibile, ovvero, concentrarsi su metodi di produzione che devono sostenere l'ambiente, preservare le risorse naturali e sostenere i mezzi di sussistenza degli agricoltori e delle popolazioni rurali (Gregory et al., 2002; Royal Society of London, 2009).

Di conseguenza, la sostenibilità del settore suinicolo può essere migliorata perfezionando l'uso degli input attraverso un'agricoltura di precisione, che fornisce una serie di tecnologie che consentono l'applicazione di acqua, sostanze nutritive e fertilizzanti solo nei momenti in cui sono necessarie (Godfray et al., 2010). Allo stesso modo, i livelli di produzione di bestiame migliorati e alte densità di

allevamento devono essere sostenuti da una migliore tecnologia e da una maggiore qualità delle risorse che consentono una produzione più sostenibile.

Il secondo scenario, invece, per una produzione sostenibile di carne suina si basa sulla selezione di animali più robusti e resistenti ai cambiamenti climatici, che sono in grado di adattarsi più facilmente a mangimi di bassa qualità. Ad esempio, un aumento delle temperature può portare gli animali fuori dalle loro zone di comfort termico, con conseguenti riduzioni delle assunzioni di mangime, inoltre cambiamenti climatici come la siccità e periodi di pioggia variabile, così come altri piccoli cambiamenti climatici, possono innescare dei periodi di scarsità di mangimi e cambiamenti sostanziali nella qualità nutrizionale delle loro componenti (Thornton et al., 2014).

Nel loro studio, Puollet (2019) e il suo gruppo di ricerca hanno dimostrato come i maiali creoli, naturalmente adattati alle condizioni tropicali, sono stati in grado di mantenere un livello adeguato di aumento del peso corporeo con un'alimentazione limitata mentre, nelle stesse condizioni, la crescita di suini bianchi di grandi dimensioni, selezionati come animali ad alte prestazioni produttive, è stata significativamente bassa. Allo stesso modo, Rauw (2017), ha osservato che, indipendentemente dalla linea genetica, suini con tassi di crescita più elevati, inseriti in un ambiente termicamente neutro, avevano tassi di crescita più bassi se sottoposti a una sfida di stress termico. Ciò indica che gli animali ad alta prestazione in condizioni termicamente neutre sono meno robusti nei confronti degli stress termici, mentre suini abituati ad ambienti con elevati stress termici hanno

dimostrato un livello di produzione adeguato anche in condizioni termoneutrali. Gli autori hanno concluso che i risultati del loro studio sottolineano la necessità di rivalutare e reindirizzare la scelta della razza e gli obiettivi di selezione genetica, verso il miglioramento della tolleranza al calore nei confronti dei cambiamenti climatici e che, i suini di interesse come candidati alla selezione, sono quelli in grado di mantenere alti tassi di crescita anche sotto stress da calore ma, sottolineano che questi animali potrebbero non aver la genetica con il più alto potenziale di crescita.

Per la valutazione della fattibilità, di questo secondo scenario ad output ridotto, è necessaria una valutazione della disponibilità locale di alternative di coprodotti per mangimi. L'iniziativa *Foods of Norway*, nata in Norvegia nel *Centre for Research-based Innovation in Ås*, ([www.foodsofnorway.net](http://www.foodsofnorway.net)), è stata creata proprio con l'obiettivo di evitare l'importazione di ingredienti vegetali, come la soia, per la formulazione di alimenti per il bestiame, e lo sviluppo di nuovi ingredienti tecnologici per i mangimi derivanti da fonti biologiche naturali e locali. Gli alimenti alternativi studiati includono: il lievito derivante da abeti rossi, colza, sottoprodotti della pesca, animali e piante e microalghe (Øverland et al., 2018; Pérez et al., 2019).

Nel 2011 l'Unione Europea, a seguito di una valutazione dell'insostenibilità riconducibile alla forte dipendenza dell'UE dalle importazioni di farina di soia e in balia della volatilità dei prezzi dei mercati internazionali, ha sviluppato una proposta di risoluzione del Parlamento europeo che sottolineava il potenziale per rendere più efficace l'approvvigionamento di alimenti per animali mediante misure agroambientali tramite la coltivazione di alimenti in aziende che utilizzano colture miste, incoraggiando sistemi di rotazione delle colture e utilizzando sottoprodotti

della produzione di semi oleosi per l'alimentazione animale ([www.europarl.europa.eu](http://www.europarl.europa.eu)).

Tuttavia, poiché la quantità e la qualità delle risorse alimentari limitano spesso la produzione, un'alimentazione basata su diete di qualità nutrizionale non ottimale possono portare ad un'interazione genotipica con la dieta. Infatti, Brandt (2010) ha osservato un'interazione genotipo-ambiente in relazione alla crescita in diverse razze suine allevate in sistemi di produzione convenzionali, che utilizzavano diete standardizzate, e biologiche, che utilizzavano diete biologiche basate su mangimi coltivate in azienda. L'autore sottolinea che le interazioni genotipo-dieta possono anche verificarsi quando agli stessi genotipi vengono somministrate diete diverse o quantità diversa è la stessa dieta.

Mauch (2018), invece, ha osservato che le risposte alla selezione per una migliore efficienza alimentare si ottenevano quando i suini venivano alimentati con diete ad alto contenuto energetico e basso contenuto di fibra, e non venivano pienamente realizzate quando invece venivano alimentati con una dieta a basso contenuto energetico e ad alto contenuto di fibre. Questo studio viene sostenuto dal lavoro di Rauw (2019), che ho osservato che i suini più efficienti in termini di alimentazione, che venivano alimentati con una dieta concentrata ad alta qualità di grano, erano anche quelli meno efficienti in termini di alimentazione con una dieta locale ad alto contenuto di fibra. Queste osservazioni sottolineano che quando la sostenibilità della produzione viene migliorata, malgrado l'efficienza dei suini nel trasformare i mangimi locali di bassa qualità in carne (Van Kernebeek et al., 2016), ciò può richiedere una specie suina differente rispetto a quelle attualmente

selezionate in sistemi di produzione ad alto rendimento. Come esprime Phocas (2016), nel suo studio, una gestione agroecologica dei suini, la quale comprende una riduzione degli input esterni necessari per la produzione e una riduzione dell'inquinamento ottimizzando il funzionamento metabolico dei sistemi agricoli, richiede necessariamente animali con diverse caratteristiche e prestazioni, e la necessità di riprodursi in funzione di tutti i possibili ambienti in cui possono essere allevati

#### 5.4. SOSTENIBILITÀ DELLE PRODUZIONI AVICOLE

A livello globale la produzione di carni avicole è seconda solo a quelle suinicole, ed è stato previsto che in pochi anni diventerà la carne maggiormente prodotta e consumata a livello mondiale. Anche per quanto riguarda la produzione di uova, a livello mondiale è in continua crescita e la sua diffusione è così elevata in virtù dell'elevata accessibilità economica anche dei paesi a basso reddito. Secondo alcune stime della FAO, le produzioni di carne avicole e di uova è destinata a crescere rispettivamente del 121% e del 65% entro il 2050 (Mottet e Tempio, 2017).

Le produzioni avicole, come gli altri settori zootecnici, contribuiscono significativamente all'emissione di gas serra a livello globale, in relazione alla coltivazione di cereali per mangimi, e per l'impiego di energia nelle diverse fasi produttive. A livello di sostenibilità, le produzioni di carne avicole e di uova presentano livelli di impatto ambientale inferiori rispetto alle altre filiere

zootecniche, soprattutto se vengono paragonate a quelle dei ruminanti (Gleam, 2017); questo, fondamentalmente, imputabile alla loro fisiologia digestiva, essendo monogastrici, e dalla loro notevole efficienza di conversione alimentare, raggiunta negli ultimi decenni in virtù dell'aumento dell'industrializzazione delle produzioni e del miglioramento delle razze utilizzate attraverso la genetica, ma anche grazie alle strategie nutrizionali, al management e alle profilassi sanitarie adottate.

#### 5.4.1. ALIMENTAZIONE

L'impatto ambientale degli allevamenti dei monogastrici, soprattutto gli allevamenti di pollo da carne e di galline ovaiole, deriva principalmente dalla produzione di mangimi, la loro coltivazione, lavorazione e trasporto. La produzione avicola è il settore che richiede la maggior superficie agricola per la produzione di cereali, che è stata stimata circa di 93 milioni di ettari nel 2010 (Mottet et al., 2017), di cui 19 milioni in paesi con un'economia avanzata e 74 milioni di ettari in paesi in via di sviluppo. Questi ettari dedicati alla produzione di cereali per la produzione di mangimi corrispondono al 44% della superficie totale utilizzata per il settore zootecnico (Stefanon et al., 2018b).

Sul quantitativo delle emissioni prodotte dall'allevamento del pollo carne e dalle galline ovaiole, l'alimentazione rappresenta la quota maggiore; pertanto, un aumento dell'efficienza di conversione alimentare rappresenta uno dei principali fattori in grado di ridurre l'impatto ambientale delle produzioni avicole.

Un'altra importante strategia è quella di coltivare materie prime che abbiano ridotto impatto ambientale o caratterizzate da un migliore bilanciamento dei nutrienti e quindi in grado di ridurre le emissioni di azoto e fosforo. Per assecondare questa strategia si può preferire fonti proteiche prodotte in Europa per sostituire la soia importata. Tuttavia, la presenza di fattori antinutrizionali nelle piante coltivate e la necessaria integrazione con amminoacidi di sintesi nella dieta, non consente una significativa riduzione dell'impatto ambientale dell'allevamento avicolo in termini di emissione di GHG e di eutrofizzazione (Leinonen, 2016).

Van Huis (2013) e Valdkamp (2012) propongono l'allevamento di insetti come valida alternativa alle comuni materie prime utilizzate per la formulazione di alimenti per avicoli. Questo tipo di produzione, oltre ad avere vantaggi sia ambientali che economici, presenta dei vantaggi come: la necessità di spazi ridotti per la produzione, consumi idrici ridotti, indici di conversione alimentare ottimi, emissioni di ammoniaca e GHG ridotti e la possibilità di utilizzare prodotti che non sono in competizione con l'alimentazione umana (Steinfeld et al., 2006). La FAO sostiene anche che le farine e le forme larvali di insetti come la camola della farina, la Mosca soldato o la Mosca comune, possono diventare una valida alternativa alle comuni fonti proteiche impiegati per la formulazione di mangimi grazie ai loro valori ottimali di grassi, proteine, vitamine e sali minerali (Makkar et al., 2014; Rumpold e Schlüter, 2013).

Bisogna in ogni caso considerare che quando vengono utilizzate fonti alimentari alternative, considerate *environmentally-friendly*, si può generare un potenziale effetto sulle prestazioni produttive, in termini di accrescimento corporeo

ed efficienza alimentare. Per esempio, se peggiora l'efficienza di trasformazione alimentare questo determina un aumento dell'impatto ambientale per unità di prodotto a causa dell'incremento dei fabbisogni alimentari. Analogamente, un aumento del tasso di mortalità può comportare effetti simili poiché la qualità finale di prodotto è inferiore. Può essere anche negativamente influenzata la gestione delle deiezioni nel peggioramento dell'efficienza di trasformazione dell'alimento, di conseguenza si ottiene un maggiore quantitativo di azoto emesso che a sua volta aumenta le emissioni nell'ambiente (Leinonen, 2016).

Al contrario invece il miglioramento dell'efficienza di conversione alimentare, per esempio con l'utilizzo di enzimi esogeni, che sono in grado di migliorare la digeribilità di diversi nutrienti, può avere moltissimi risvolti positivi sull'impatto ambientale, ed è particolarmente importante come strategia nei confronti della componente azotata e fosforica (Stefanon et al., 2018b).

Un'eccessiva quantità di proteine nella dieta comporta moltissimi effetti negativi sull'impatto ambientale degli allevamenti avicoli quali: emissioni di gas climalteranti derivanti dalla coltivazione di componenti per mangime ed emissioni di azoto attraverso le deiezioni. Moltissimi studi evidenziano che una riduzione del quantitativo di proteine nella dieta generalmente non comporta un peggioramento delle prestazioni produttive del pollo da carne, perciò, questo tipo di strategia di riduzione proteica presenta un potenziale elevato di miglioramento dell'impatto ambientale di questo tipo di produzione (Stefanon et al., 2018b).

In conclusione, le attività di mitigazione per minimizzare le emissioni legate allevamento di pollame sono quelle di limitare l'assunzione eccessiva di nutrienti e



quella di migliorare l'efficienza di conversione alimentare degli stessi, attraverso un corretto bilanciamento dei nutrienti, il razionamento e il miglioramento della digeribilità dei mangimi. Le principali attività potrebbero anche includere: l'ottimizzazione della formulazione dei mangimi in relazione al tipo genetico e alla fase di crescita, l'impiego di diete con ridotto tenore proteico e integrate con aminoacidi di sintesi con basso tenore di fosforo derivante da fonti inorganiche assimilabili e l'uso di fonti alimentari di buona qualità e con bassi livelli di contaminazione (Gerber et al., 2007).

#### 5.4.2. GESTIONE DEI REFLUI

Tra i principali fattori che influenzano negativamente la sostenibilità ambientale del settore avicolo, di particolare importanza sono l'utilizzazione delle fonti proteiche e l'emissione di composti azotati. Infatti, nei sistemi di allevamento intensivi di pollame si utilizzano maggiormente diete contenenti quantità elevate di proteine e altre sostanze a base di composti azotati. La conversione alimentare della frazione azotata presente nella dieta in prodotti di origine animale è poco efficiente, poiché una quota compresa tra il 50 e l'80% dell'azoto totale ingerito viene escreta con le deiezioni (Arogo et al., 2001).

Le deiezioni del pollame, oltre a contenere elevate quantità di azoto, presentano un'elevata concentrazione anche di altre molecole bioattive come il fosforo e composti come antibiotici, ma anche patogeni e metalli pesanti, che derivano principalmente dall'alimentazione e dalla letta. Lo smaltimento, sia della

lettera che delle deiezioni, può avere ripercussioni importanti soprattutto riguardo il grado di eutrofizzazione e acidificazione delle acque. Le forme di escrezione azotata derivante dal pollame sono sia di natura organica che inorganica: ammoniaca ( $\text{NH}_3$ ), ossido di azoto ( $\text{N}_2\text{O}$ ), azoto gassoso ( $\text{N}_2$ ) e nitrati ( $\text{NO}_3^-$ ) (Stefanon et al., 2018b).

Le problematiche di ordine ambientale riguardano principalmente l'eccesso di concentrazione nelle acque superficiali e nel terreno. Infatti, l'eccesso di azoto nell'ambiente determina diversi problemi, tra cui eutrofizzazione e acidificazione, con riflessi negativi diretti sulla biodiversità vegetale e animale, nonché alle emissioni di gas effetto serra come l'ossido d'azoto (Leinonen, 2016). La problematica principale, tuttavia, è legata alle emissioni di fosforo, la cui presenza eccessiva nelle deiezioni è troppo elevata rispetto ai fabbisogni delle colture ma, in generale, l'utilizzo di buone pratiche agricole e un buon uso delle deiezioni consentono di minimizzare le emissioni di azoto e di fosforo delle deiezioni (Stefanon et al., 2018b).

Inoltre, i reflui avicoli possono contenere quantità abbastanza rilevanti di metalli potenzialmente pericolosi come: arsenico, zinco e rame, che in quantità eccessive sono tossici per i vegetali e gli organismi che se ne nutrono. La loro presenza nei reflui può derivare dall'aggiunta volontaria di questi metalli nel mangime, vi sono però disposizioni legislative che limitano l'inclusione di questi minerali, volte a contenere la loro diffusione nell'ambiente (Commissione Europea, 2003).

I mangimi possono però anche contenere sostanze a uso veterinario, come gli antibiotici, i quali a lungo termine possono dare fenomeni di antipatico resistenza.

Un dei meccanismi efficienti per migliorare l'impatto ambientale della produzione avicole è quello del miglioramento l'efficienza di conversione alimentare attraverso la selezione genetica (Stefanon et al., 2018). Diversi autori sostengono come i risultati conseguiti dalla selezione genetica negli ultimi decenni abbiano effettivamente ridotto l'impatto ambientale dell'allevamento avicolo nel suo complesso, mediante diminuzione delle emissioni di GHG, di ammoniaca e di nitriti (Pelletier, 2014).

Uno studio recente, condotto da Leinonen (2016), ha stimato i potenziali effetti della selezione genetica, in un arco temporale di 15 anni in un sistema standard di allevamento di pollo da carne, utilizzando un approccio LCA. Gli autori hanno dimostrato che la riduzione dell'età alla macellazione, ottenibile grazie al miglioramento genetico, potenzialmente può ridurre l'impatto ambientale della filiera del pollo da carne, soprattutto per quanto riguarda una diminuzione del potenziale di eutrofizzazione e acidificazione, di uso delle risorse ed il riscaldamento globale. Queste riduzioni sono una diretta conseguenza della diminuzione dei fabbisogni di mantenimento degli animali e quindi di una diminuzione dei consumi di mangime che consentono una riduzione dei cicli di produzione (Leinonen et al., 2016).

Un altro metodo per ridurre l'impatto ambientale della filiera avicola è quello di utilizzare la lettiera a fine ciclo per la produzione di energia elettrica. Nel

loro studio, Williams (2016), con un approccio LCA, hanno documentato il vantaggio nell'impiego della lettiera, proveniente da un allevamento di tacchini, per la produzione di energia elettrica al posto di utilizzarla come fertilizzante agricolo. Gli autori hanno stimato una riduzione potenziale di eutrofizzazione del 55% e di acidificazione del 70%. Gli autori hanno ottenuto queste riduzioni grazie all'eliminazione pressoché pari a zero delle emissioni di ammoniaca durante lo stoccaggio e lo spandimento della lettiera, e sottolineano che la produzione energetica può fornire un contributo alla diminuzione di circa il 14% dell'impiego dell'energia fornita dallo stato. Tuttavia gli autori ribadiscono che la potenziale riduzione dell'effetto del riscaldamento globale risulta tuttavia piuttosto contenuta, pari al 3% infatti, a fronte di una forte riduzione delle emissioni di gas serra in virtù di una riduzione dell'uso di combustibili fossili; vi è, inoltre, una ridotta capacità di stoccaggio dell'anidride carbonica che rimane immobilizzata nel suolo per un periodo più lungo, nel caso dell'utilizzo di fertilizzanti, invece che essere utilizzati come materia prima per la produzione di energia. Occorre poi sottolineare un altro aspetto negativo nella produzione di energia attraverso il riciclo della lettiera corrispondente all'aumento delle emissioni di ossido di azoto e di polveri sottili. In generale, le produzioni di pollo da carne e uova sono considerate e *environmentally-friendly* in virtù della loro elevata efficienza nell'utilizzo delle risorse, e di conseguenza delle loro limitate emissioni per unità di prodotto (Leinonen et al., 2012a, 2012b).

## CONCLUSIONI

Il settore zootecnico sfrutta una vasta gamma di risorse naturali e la sua gestione e il suo sviluppo devono essere gestiti con cura data la crescente scarsità di queste risorse e le opportunità che queste rappresentano per altri settori produttivi e non. Sia la produzione estensiva come pure quella intensiva richiedono attenzione e intervento affinché il settore zootecnico possa generare meno impatti ambientali negativi e più impatti positivi sui beni ambientali nazionali e globali.

La maggior parte degli interventi di mitigazione che dovrebbero essere adottati dal settore zootecnico potrebbero fornire benefici sia dal punto di vista ambientale che economico. Le tecnologie e le pratiche volte a ridurre le emissioni spesso possono aumentare contemporaneamente la duttilità, contribuendo così alla sicurezza alimentare e allo sviluppo economico.

Le riduzioni delle emissioni possono essere ottenute in tutte le specie zootecniche, sistemi produttivi e regioni, e le tecniche di mitigazione variano in tutto il settore zootecnico in quanto le fonti di emissione, i livelli e le intensità variano a seconda della specie, dei sistemi di produzione e regioni; ciò significa che il potenziale di mitigazione dell'impatto ambientale del settore zootecnico può essere raggiunto come risultato del miglioramento delle pratiche piuttosto che del cambiamento dei sistemi di produzione.

Una parte del potenziale di mitigazione può essere raggiunto attraverso pratiche di miglioramento dell'alimentazione, con una stretta sorveglianza che tuteli salute e benessere animale e gestione della mandria, specialmente nei ruminanti.

Nelle aree dove l'intensità e l'efficienza di produzione è elevata la mitigazione può essere ottenuta migliorando le operazioni agricole come la gestione del letame, il consumo di energia e l'approvvigionamento di mangimi con una minore intensità di emissioni.

Riduzioni considerevoli delle emissioni potrebbero essere ottenute anche nei sistemi di produzione di carne suina e avicola, i quali si basano su *input* ad alta intensità di emissione e sono sistemi zootecnici che non operano ad alti livelli di efficienza.

Per ridurre l'impatto ambientale del settore zootecnico è necessaria un'azione complementare *multistakeholder* per sviluppare e attuare strategie di mitigazione efficienti, sia in termini di costi sia per istituire politiche di sostegno. Solo coinvolgendo tutte le parti interessate del settore zootecnico (settore privato, settore pubblico, ricerca, mondo accademico e organizzazioni internazionali) possono essere sviluppate soluzioni che affrontino la complessità e la diversità del settore.

Infine, essendo il cambiamento climatico un problema globale ed essendo le catene di approvvigionamento alimentare sempre più collegate a livello internazionale, per essere efficaci e sostenibili le azioni di mitigazione devono essere globali e mirate alla riduzione dell'impatto ambientale dell'allevamento per raggiungere l'obiettivo di rendere questo settore davvero sostenibile.



## BIBLIOGRAFIA

Allan J. A. (1996). *Policy responses to the closure of water resources: regional and global issues*. In Howsam P., Carter R. (eds.), *Water policy allocation and management in practice*. Proceedings of international conference, Cranfield University, UK, 23-24 September.

Allard V., Newton P., Lieffering M., Clark H., Matthew C., Soussana J. F., Gray Y. (2003). *Nitrogen cycling in grazed pastures at elevated CO<sub>2</sub>: N returns by ruminants*. *Global Change Biology*. 9, 1731-1742.

Amills M., Clop A., Ramírez O., Pérez-Enciso M. (2010). *Origin and genetic diversity of pig breeds, in Encyclopedia of Life Sciences (ELS)*. John Wiley, Chichester. 1-10.

Arango J., Ruden A., Martinez-Baron D., Loboguerrero A. M., Berndt A., Chacón M., Torres C. F., Oyhantcabal W., Gomez C. A., Ricci P., Ku-Vera J., Burkart S., Moorby J. M., Chirinda N. (2020). *Ambition meets reality: achieving GHG emission reduction targets in the livestock sector of Latin America*. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 4, 65.

Arnon A., Svoray T., Eugene D.U. (2011). *The spatial dimension of pastoral herding: A case study from the northern Negev*. *Israel Journal of Ecology & Evolution*. 57 (1-2), 129-149.

Arogo J., Westerman P. W., Heber A. J., Robarge W. P., Classen J. J. (1998). *Ammonia in animal production*. A review. In 2001 ASAE Annual Meeting (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Arogo J., Westerman P. W., Heber A. J., Robarge W. P., Classen J. (2002). *Ammonia Emissions from Animal Feeding Operations*. *Animal Agriculture and the Environment: National Center for Manure and Animal Waste Management White Papers*.

Bach A., Valls N., Solans A., Torrent T. (2008). *Associations between nondietary factors and dairy herd performance*. *Journal of dairy science*. 91, 3259-3267.

Baldocchi D. D., Xu L. (2007). *What limits evaporation from Mediterranean oak woodlands – The supply of moisture in the soil, physiological control by plants or the demand by the atmosphere?*, *Advances in Water Resources*. 30 (10), 2113-2122.



- Bassanino M., Grignani C., Sacco D., Allisiardi E. (2007). *Nitrogen balances at the crop and farm-gate scale in livestock farms in Italy*. Agriculture, Ecosystems & Environment. 122 (3), 282-294.
- Basset-Mens C., van der Werf H. M. G. (2005). *Scenario-based environmental assessment of farming systems: the case of pig production in France*. Agriculture, Ecosystems & Environment. 105, 1-2. 127-144.
- Basset-Mens C., van der Werf H.M.G., Robin P., Morvan Th., Hassouna M., Paillat J.-M., Vertès F., (2007). *Methods and data for the environmental inventory of contrasting pig production systems*. Journal of Cleaner Production. 15, 1395-1405.
- Batalla I., Trydeman Knudsen M., Mogensen L., del Hierro Ó., Pinto M., Hermansen J. E. (2015). *Carbon footprint of milk from sheep farming systems in Northern Spain including soil carbon sequestration in grasslands*. Journal of Cleaner Production. 104, 121-129.
- Battaglini L., Bovolenta S., Gusmeroli F., Salvador S., Sturaro E. (2014). *Environmental Sustainability of Alpine Livestock Farms*. Italian Journal of Animal Science. 13, 2.
- Battini F., Agostini A., Boulamanti A. K., Giuntoli J., Amaducci S. (2014). *Mitigating the environmental impacts of milk production via anaerobic digestion of manure: Case study of a dairy farm in the Po Valley*. Science of The Total Environment. 481, 196-208.
- Bava L., Sandrucci A., Zucali M., Guerci M., Tamburini A. (2014). *How can farming intensification affect the environmental impact of milk production?*. Journal of Dairy Science. 97 (7), 4579-4593.
- Bava L., Zucali M., Sandrucci A., Tamburini A. (2017). *Environmental impact of the typical heavy pig production in Italy*. Journal of Cleaner Production. 140 (2), 685-691.
- Bell M. J., Wall E., Russell G., Simm G., Stott A. W. (2011). *The effect of improving cow productivity, fertility, and longevity on the global warming potential of dairy systems*. Journal of Dairy Science. 94 (7), 3662-3678.
- Ben Salem H., Nefzaoui A., Ben Salem L. (2000). *Supplementing range goats in central Tunisia with feed blocks of a mixture of Opuntia, Ficus indica var. interims and Atroplex nummularia. Effects on behavioral activities and growth*. 7<sup>th</sup> conference on Goats, Maggio 15-21. France, Institute de l'élevage. 988-989.

Blümmel M., Tevmouri F., Moore J., Nielson C., Videto J., Kodukula P., Pothu S., Devulapalli R., Varijakshapanicker P. (2018). *Ammonia fiber expansion (AFEX) as spin off technology from 2nd generation biofuel for upgrading cereal straws and stovers for livestock feed*. *Animal Feed Science and Technology*. 236, 178-186.

Bocquier F., Brelurut A. (1987). *Recommandations alimentaires pour les brebis en lactation*. *Bulletin Technique, Centre de Recherches Zootechniques et Vétérinaires de Theix*. 70, 199-211.

Bond W. J., Parr C. L. (2010). *Beyond the forest edge: Ecology, diversity and conservation of the grassy biomes*. *Biological Conservation*. 143, 2395-2404.

Bonneau M., de Greef K., Brinkman D., Cinar M. U., Dourmad J. Y., Edge H. L., Fàbrega E., González J., Houwers H. W. J., Hviid M., Ilari-Antoine E., Klauke T. N., Phatsara C., Rydhmer L., van der Oever B., Zimmer C., Edwards S. A. (2014a). *Evaluation of the sustainability of contrasted pig farming systems: the procedure, the evaluated systems and the evaluation tools*. *Animal*. 8, 2011-2015.

Bonneau M., Klauke T. N., González J., Ilari-Antoine E., Dourmad J. Y., de Greef K., Houwers H. W. J., Cinar M. U., Fàbrega E., Zimmer C., Hviid M., van der Oever B., Edwards S. A. (2014b). *Evaluation of sustainability of contrasted pig farming systems: integrated evaluation*. *Animal*. 8, 2058-2068.

Brandt H., Werner D. N., Baulain U., Brade W., Weissmann F. (2010). *Genotype-environment interactions for growth and carcass traits in different pig breeds kept under conventional and organic production systems*. *Animal*. 4, 535-544.

Brunetta A. (2019). *Benessere animale: breve storia, definizioni e normative generali*. *Rivista di Agraria*. 31 Marzo. [www.rivistadiagraria.org](http://www.rivistadiagraria.org)

Bruinsma J. (2003). *World agriculture: towards 2015/2030 - An Fao prospective*. Earthscan, Roma.

Broom D. M., Johnson K. G. (1993). *Stress and Animal Welfare*. Springer. 211.

Broom D. M. (1996). *Animal welfare defined in terms of attempts to cope with the environment*. *Acta. Agric. Scand. Sec. A. Anim. Sci.* 27, 22-28.

Broom D. M. (2019). *Animal welfare complementing or conflicting with other sustainability issues*. *Applied Animal Behaviour Science*. 219, 104829.

Cabiddu A., Addis M., Fiori M., Spada S., Decandia M., Molle G. (2017). *Pros and cons of the supplementation with oilseed enriched concentrates on milk fatty acid*

*profile of dairy sheep grazing Mediterranean pastures*. Small Ruminant Research. 147, 63-72.

Cabiddu A., Addis M., Pinna G., Decandia M., Sitzia M., Piredda G., Pirisi A., Molle G. (2006). *Effect of corn and beet pulp-based concentrates on sheep milk and cheese fatty acid composition when fed Mediterranean fresh forages with particular reference to conjugated linoleic acid cis-9, trans-11*. Animal Feed Science and Technology. 131 (3-4), 292-311.

Cabiddu A., Canu M., Decandia M., Molle G., Pompel R. (2004). *The intake and performance of dairy ewes fed with different levels of olive cake silage in late pregnancy and suckling periods*. In Ben Salem H. (ed.), Nefzaoui A. (ed.), MorandFehr P. (ed.). Nutrition and feeding strategies of sheep and goats under harsh climates. Zaragoza: CIHEAM. 197-201.

Cabiddu A., Decandia M., Sitzia M., Molle G. (2000). *A note on the chemical composition and tannin content of some Mediterranean shrubs browsed by Sarda goats*. In: Ledin I. (ed.), Morand-Fehr P. (ed.). Sheep and goat nutrition: Intake, digestion, quality of products and rangelands. Zaragoza: CIHEAM. 175-178. Seminar of the Sub-Network on Nutrition of the FAO-CIHEAM Inter-Regional Cooperative Research and Development Network on Sheep and Goats, 1998/09/03-05, Grignon (France).

Campbell B., Hansen J., Rioux J., Stirling C. M., Twomlow S., Wollenberg E. (2018). *Urgent action to combat climate change and its impacts (SDG 13): transforming agriculture and food systems*. Current Opinion in Environmental Sustainability. 34, 13-20.

Cannas A. (2004). *Feeding of lactating ewes*. CABI Books. CABI.

Cannas A., Cabiddu A., Bomboi G., Ligios S., Floris B., Molle G. (2013). *Decreasing dietary NFC concentration during mid-lactation of dairy ewes: Does it result in higher milk production?*. Small Ruminant Research. 111 (1-3), 41-49.

Capper J. L., Cady R. A. (2012). *A comparison of the environmental impact of Jersey compared with Holstein milk for cheese production*. Journal of Dairy Science. 95 (1), 165-176.

Carpenter S. R., Caraco N. F., Correll D. L., Howarth R. W., Sharpley A. N., Smith V. H. (1998). *Nonpoint pollution of surface water with phosphorus and nitrogen*. Issues in Ecology. 3. [www.epa.gov](http://www.epa.gov)

Carus M., Dammer L. (2018). *The "circular bioeconomy" - concepts, opportunities and limitations*. Nova Institut, Hürth, Germany. 9.

Cassandro M. (2013). *Comparing local and cosmopolitan cattle breeds on added values for milk and cheese production and their predicted methane emissions*. *Animal Genetic Resources*. 53, 129-134.

Castellini C., Boggia A., Cortina C., Dal Bosco A., Paolotti L., Novelli E., Mugnai C., (2012). *A multicriteria approach for measuring the sustainability of different poultry production systems*. *Journal of Cleaner Production*. 37, 192-201.

CBD – Convenzione sulla diversità biologica. ONU. (1992). Rio de Janeiro. 5 giugno 1992.

Cederberg C., Mattsson B. (2000). *Life cycle assessment of milk production - a comparison of conventional and organic farming*. *Journal of Cleaner Production*. 8 (1), 49-60.

Cesari V., Zucali M., Sandrucci A., Tamburini A., Bava L., Toschi I. (2017). *Environmental impact assessment of an Italian vertically integrated broiler system through a Life Cycle approach*. *Journal of Cleaner Production*. 143.

Chapagaain A. K., Hoekstra A. Y. (2003). *Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products*. Value of Water Research report series No 13. Unesco-Ihe. Delft.

Chatterton J., Williams A., Hateley G., Curwen A., Elliott J. (2014). *A systems-LCA approach to modelling the impact of improvements in cattle health on greenhouse gas emissions*. Proc. 9<sup>th</sup> International Conference on Food Security. San Francisco, 8-10 Ottobre.

Chilliard Y., Martin C., Rouel J., Doreau M. (2009). *Milk fatty acids in dairy cows fed whole crude linseed, extruded linseed, or linseed oil, and their relationship with methane output*. *Journal of Dairy Science*. 92 (10), 5199-5211.

Ciccarese D. (2012). *Il libro nero dell'agricoltura*. Milano. Ponti delle grazie.

Cioffi F., De Santoli L., Lalli A., Manes F., Persia L., Serranti S. (2022). *Scienze della sostenibilità*, Zanichelli.

Classen A., Peters M. K., Feger S. W., Helbig-Bonitz M., Schmack J. M., Maassen G., Schleuning M., Kalko E. K. V., Bohning-Gaese K., Steffan-Dewenter I. (2014). *Complementary ecosystem services provided by pest predators and pollinators increase quantity and quality of coffee yields*. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 281, 20133148.

Cosentino S. L., Porqueddu C., Copani V., Patanè C., Testa G., Scordia D., Melis R. (2014). *European grasslands overview: Mediterranean region*. The future of European grasslands. 41.

Croney C. C., Anthony R. (2011). *Ruminating conscientiously: Scientific and socio-ethical challenges for US dairy production*. Journal of Cleaner Production. 94, 539-546.

Crosson P., Shalloo L., O'Brien D., Lanigan G. J., Foley P. A., Boland T. M., Kenny D. A. (2011). *A review of whole farm systems models of greenhouse gas emissions from beef and dairy cattle production systems*. Animal Feed Science and Technology. 166-167, 29-45.

Dalla riva A. (2013). Carbon footprint from dairy farming system: comparison between Holstein and Jersey cattle in Italian circumstances. Tesi laurea magistrale, dipartimento di agronomia animali, alimenti, risorse naturali e ambiente, Università degli Studi di Padova.

Dalla riva A., Burek J., Kim D., Thoma G., Cassandro M., De Marchi M. (2015). *The environmental impact of cow milk in the northeast of Italy*. Poljoprivreda. 21, 105-108.

De Boer I. J. M. (2003). *Environmental impact assessment of conventional and organic milk production*. Livestock Production Science. 80 (1-2), 69-77.

De Boer I. J. M., Hoving I. E., Vellinga T. V., van de Ven G. W. J., Leffelaar P. A., Gerber P. J. (2013). *Assessing environmental impacts associated with freshwater consumption along the life cycle of animal products: the case of Dutch milk production in Noord-Brabant*. The International Journal of Life Cycle Assessment. 18(1), 193-203.

De Fraiture C., Wichelns D., Rockstrom J., Kemp-Benedict E., Eriyagama N., Gordon L. J., Hanjra M. A., Hoogeveen J., Huber-Lee A., Karlberg L. (2007). *Looking ahead to 2050: scenarios of alternative investment approaches*. In Molden D. (Ed.). Water for food, water for life: a Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. London, UK: Earthscan. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). 91-145.

De Smet S., Vossen E. (2016). *Meat: the balance between nutrition and health*. A review. Meat Science. 120, 145-156.

De Vries M., de Boer I. (2010). *Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments*. *Livestock Science*. 128, 1-11.

Deng X. P., Shan L., Zhang H., Turner N. C. (2006). *Improving agricultural water use efficiency in arid and semiarid areas of China*. *Agricultural Water Management*. 80 (1-2), 23-40.

Deutsch C., Tewksbury J. (2008). *Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude*. *National Academy of Sciences of the United States of America*. 105, 6668-6672.

Diaz-San Segundo F., Medina G. N., Stenfeldt C., Arzt J., de Los Santos T. (2017). *Foot-and-mouth disease vaccines*. *Veterinary Microbiology*. 206, 102-112.

Dourmad J. Y., Ryschawy J., Trousson T., Bonneau M., González J., Houwers H. W., Hviid M., Zimmer C., Nguyen T. L., Morgensen L. (2014). *Evaluating environmental impacts of contrasting pig farming systems with life cycle assessment*. *Animal: an international journal of animal bioscience*. 8(12), 2027-2037.

Eckard R., Grainger C., de Klein C. (2010). *Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review*. *Livestock Science*. 130, 47-56.

Eea - European Environmental Agency. (2004). *High Nature Farmland-Characteristics, trends and policy challenge*. Eea report n° 1/2004. Eea, Copenhagen.

Eea- European Environmental Agency. (2007). *Halting the Loss of Biodiversity by 2010: Proposal for a First Set of Indicators to Monitor Progress in Europe*. Eea, Copenhagen.

Eriksson O., Cousins S. A. O., Bruun H. H. (2002). *Land-use history and fragmentation of traditionally managed grasslands in Scandinavia*. *Journal of Vegetation Science*. 13, 743-748.

Eswaran H., Lal R., Reich P. F. (2001). *Land degradation: an overview*. In Bridges E. M., Hannam I. D., Oldeman L. R., Pening de Vries F. W. T., Scherr S. J. Sompatpanit S. Responses to land degradation. Proceedings of the second International Conference on Land Degradation and Desertification, Khon Kaen, Thailand. New Delhi, Oxford Press.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (1996). *Rome declaration on world food security*. World Food Summit, Roma, 13-17 Novembre 1996. [www.fao.org](http://www.fao.org).

FAO- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2006). *Livestock's long shadow*. Environmental issues and options. Roma. [www.fao.org](http://www.fao.org)

FAO- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2007). *The state of the world's animal genetic resources for food and agriculture* (Rischkowsky B., Pilling D., eds). FAO, Rome, Italy, 524 pp. [www.fao.org](http://www.fao.org)

FAO- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2010). *Greenhouse gas emission from the Dairy sector. Life cycle assessment*. Report: Animal production and Health Division. FAO. Roma. 1-94.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2013). Report. [www.fao.org](http://www.fao.org)

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2013). *World Livestock 2013-Changing disease landscapes*. Rome, Italy. [www.fao.org](http://www.fao.org)

FAO- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2015). *The state of food insecurity in the world - Meeting the 2015 international hunger targets*. Unaven progress, Roma. [www.fao.org](http://www.fao.org)

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2015b). *Climate change and food security: risks and responses*. [www.fao.org/3/i5188e/i5188e.pdf](http://www.fao.org/3/i5188e/i5188e.pdf)

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2016). *Synthesis: livestock and the sustainable development goals*. FAO, Rome, Italy, 12. [www.fao.org](http://www.fao.org)

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2016). *Environmental performance of large ruminant supply chains: Guidelines for assessment*. Livestock Environmental Assessment and Performance Partnership, FAO, Roma.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2018). *Shaping the future of livestock: sustainably, responsibly, efficiently*. FAO, Rome, Italy, 20. [www.fao.org](http://www.fao.org)

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2018a). *The future of food and agriculture - Alternative pathways to 2050*. Rome, Italy. 224. [www.fao.org](http://www.fao.org)

FAO- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2018b). *World livestock: transforming the livestock sector through the Sustainable Development Goals*. FAO, Rome, Italy, 228 pp. [www.fao.org](http://www.fao.org)

FAO- Food and Agriculture Organization of the United Nations., International Fund for Agricultural Development., United Nations Children's Education Fund., United Nations World Food Programme., World Health Organization (2020). *The state of food and nutrition security in the world 2020: transforming food systems for affordable healthy diets*. FAO, Rome, Italy, 320 pp. [www.fao.org](http://www.fao.org)

Feng K., Chapagain A., Suh S., Pfister S., Klaus H. (2011). *Comparison of bottom-up and top-down approaches to calculating the water footprint of nations*. Economic Systems Research. 23.

Flachowsky G., Lebzien P. (2006). *Possibilities for reduction of Nitrogen (N) excretion from ruminants and the need for further research*. A review. Landbauforschung Volkenrode. 56. 19-30.

Foley J. A., Ramankutty N., Brauman K. A., Cassidy E. S., Gerber J. S., Johnston M., Mueller N. D., O'Connell C., Ray D. K., West P. C., Balzer C., Bennett E. M., Carpenter S. R., Hill J., Monfreda C., Polasky S., Rockström J., Sheehan J., Siebert S., Tilman D., Zaks D. P. (2011). *Solutions for a cultivated planet*. Nature. 478(7369), 337-342.

Forman R., Godron M. (1981). *Patches and structural components for a landscape ecology*. BioScience. 31, 733-740.

Frank D. A. (2005). *The interactive effects of grazing ungulates and aboveground production on grassland diversity*. Oecologia. 143, 629-634.

Fraser D. (2008). *Understanding animal welfare*. Acta Veterinaria Scandinavica. 50 (1), S1.

Fraser D., Weary D. M., Pajor E. A., Milliga B. N. (1997). *A scientific conception of animal welfare that reflects ethical concerns*. Animal welfare. 6, 187-205.

Fregonesi J. A., Tucker C. B., Weary D. M. (2007). *Overstocking reduces lying time in dairy cows*. Journal of Dairy Science. 90: 3349-3354.

Galiè A., Teufel N., Korir L., Baltenweck I., Girard A. W., Domínguez-Salas P., Yount K. M. (2018). *The Women's Empowerment in Livestock Index*. Social Indicators Research. 142 (2), 799-825.



García Pinillos R., Appelby M. C., Manteca X., Scott-Park F., Smith C., Velarde A. (2016). *One Welfare: a platform for improving human and animal welfare*. Veterinary Record. 179 (16), 412-413.

Garnett T. (2009). *Livestock-related greenhouse gas emissions: impacts and options for policy makers*. Environmental Science & Policy. 12, 491-503.

Garnsworthy P. C. (2004). *The environmental impact of fertility in dairy cows: a modelling approach to predict methane and ammonia emissions*. Animal Feed Science and Technology. 112 (1-4), 211-223.

Garnsworthy P. C., Craigon J., Hernandez-Medrano J. H., Saunders N. (2012). *On-farm methane measurements during milking correlate with total methane production by individual dairy cows*. Journal of dairy science, 95(6).

GASL - Global Agenda for Sustainable Livestock. (2011). [www.livestockdialogue.org](http://www.livestockdialogue.org)

GASL- Global Agenda for Sustainable Livestock. (2021). [www.livestockdialogue.org](http://www.livestockdialogue.org)

Gavazzi G., Castelli de Sannazzaro S. (2019). *Sostenibilità, La lezione delle piante*. Ulrico Hoepli Editore.

Gerber P., Opio C., Steinfeld H. (2007). *Poultry production and the environment*. A review. Animal production and health division, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Viale delle Terme di Caracalla. 153, 1-27.

Gerber P. J., Steinfeld H., Henderson B., Mottet A., Opio C., Dijkman J., Faluccci A., Tempio G. (2013). *Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy.

Gerber P. J., Vellinga T. V., Steinfeld H. (2010). *Issues and options in addressing the environmental consequences of livestock sector's growth*. Meat science. 84, 244-7.

Gill M., Smith P., Wilkinson J. M. (2010). *Mitigating climate change: the role of domestic livestock*. Animal: an international journal of animal bioscience. 4, 323-33.

Giustini L., Acciaioli A., Argenti G. (2007). *Apparent balance of nitrogen and phosphorus in dairy farms in Mugello (Italy)*. Italian journal of animal science. 6 (2), 175-185.

Glandl F., Furger M., Kreuzer M., Zehetmeier M. (2019). *Impact of longevity on greenhouse gas emissions and profitability of individual dairy cows analysed with different system boundaries*. Animal. 13, 198-208.

- Gleam - Global Livestock Environmental Assessment Model. (2017). [www.fao.org](http://www.fao.org)
- Godfray H. C., Beddington J. R., Crute I. R., Haddad L., Lawrence D., Muir J. F., Pretty J., Robinson S., Thomas S. M., Toulmin C. (2010). *Food security: the challenge of feeding 9 billion people*. Science (New York, N.Y.). 327(5967), 812-818.
- Godfray H. C., Crute I. R., Haddad L., Lawrence D., Muir J. F., Nisbett N., Pretty J., Robinson S., Toulmin C., Whiteley R. (2010). *The future of the global food system*. Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences. 365(1554), 2769-2777.
- Godin S. (Vol. Ed.) (2022). *Carbon Almanac guida al cambiamento climatico*. Milano: RoiEdizioni.
- Grace D., Nguyen-Viet H., Mehta P., Lindahl J., Kakkar M. (2014). *Policy and practice: developing countries and livestock drug use*. Paper presented at the 3rd International Conference on Responsible Use of Antibiotics in Animals, 29 September to 1 October, Amsterdam, the Netherlands.
- Grant R. (2007). *Taking advantage of natural behavior improves dairy cow performance*. Western Dairy Management. 225-226. Reno, NV, USA.
- Gregory P. J., Ingram J. S. T., Andersson R., Betts R. A., Brovkin V., Chase T. N., Grace P. R., Gray A. J., Hamilton N., Hardy T. B., Howden S. M., Jenkins A., Meybeck M., Olsson M., Ortiz-Monasterio I., Palm C. A., Payn T. W., Rummukainen M., Schulze R. E., Thiem M., Valentin C., Wilkinson M. J. (2002). *Environmental consequences of alternative practices for intensifying crop production*. Agriculture, Ecosystems & Environment. 88 (3), 279-290.
- Gretton P., Salma U. (1996). *Land degradation and the Australian agricultural industry*. Industry Commission, Australian Government Publishing Service.
- Guerci M. (2012). *Life cycle assessment of bovine milk production in northern Italy*. PhD Thesis on animal production. Università di Milano.
- Guerci M., Bava L., Zucali M., Sandrucci A., Penati C., Tamburini A. (2013a). *Effect of farming strategies on environmental impact of intensive dairy farms in Italy*. Journal of Dairy Research. 80 (3), 300-308.
- Guerci M., Knudsen M. T., Bava L., Zucali M., Schönbach P., Kristensen T. (2013b). *Parameters affecting the environmental impact of a range of dairy farming systems in Denmark, Germany and Italy*. Journal of Cleaner Production. 54, 133-141.

Guerci M., Zucali M., Bava L., Sandrucchi A., Tamburini A. (2012). *“più energia netta latte riducendo l'impatto ambientale”, stalle da latte*. Informatore agrario. 32, 29-32.

Haas G., Wetterich F., Köpke U. (2001). *Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment*. Agriculture, Ecosystems & Environment. 83 (1-2), 43-53.

Hill C. T., Krawczel P. D., Dann H. M., Ballard C. S., Hovary R. C., Falls W. A., Grant R. J. (2009). *Effect of stocking density on the short-term behavioural responses of dairy cows*. Applied Animal Behavior Science. 117, 144-149.

Hristov A. N., Oh J., Firkins J. L., Dijkstra J., Kebreab E., Waghorn G., Makkar H. P., Adesogan A. T., Yang W., Lee C., Gerber P. J., Henderson B., Tricarico J. M. (2013). *Special topics-Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options*. Journal of animal science. 91(11), 5045-5069.

Hoddinot J. (2006). *Shocks and their Consequences Across and Within Households in Rural Zambia*. Journal of Development Studies. 42(2), 301-321.

Hoekstra A. Y., Chapagain A. K., Aldaya M. M., Mekonnen M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual Setting the Global Standard*. Earthscan, London.

Hoekstra A. Y., Hung P. Q. (2002). *Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade*. Value of Water Research Report Series No. 11. [www.waterfootprint.org](http://www.waterfootprint.org)

Hoekstra A. Y., Mekonnen M. M. (2012). *The water footprint of humanity*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 109(9), 3232-3237.

Hooper D., Iii F. C., Ewel J. (2005). *Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge*. Ecological Monographs. 75, 3-35.

Hospito A., Sonnesson U. (2005). *The environmental impact of mastitis: a case study of dairy herds*. The Science of the total environment. 343(1-3), 71-82.

Hughes B. O. (1976). *Preference decisions of domestic hens for wire or litter floors*. Applied Animal Ethology (Applied Animal Behaviour Science). 2, 155-165.

Hurnik J. F., Lehman H. (1988). *Ethics and farm animal welfare*. Journal of Agricultural and Environmental Ethics .1 (4), 305-318.

Jara J., Stockle C. O., Kjølgaard J. (1998). *Measurement of evapotranspiration and its components in a corn (Zea Mays L.) field*. Agricultural and Forest Meteorology. 92 (2), 131-145.

Kababya D., Perevolotsky A., Bruckental I., Landau S. (1998). *Selection of diets by dual-purpose mamber goats in mediterranean woodland*. The journal of agricultural science. 131 (2), 221-228.

Kaimowitz D., Mertens B., Wunder S. (2004). *Hamburger Connection fuels Amazon destruction - Cattle ranching and deforestation in Brazil's Amazon*. Center for International Forestry Research (CIFOR).

Keating B. A., Herrero M., Carberry P. S., Gardner J., Cole M. B. (1014). *Food wedges: Framing the global food demand and supply challeng towards 2050*. Global Food Security. 3, 125-132.

Keeling C. D., Bacastow R. B., Bainbridge A. E., Ekdahl C. A., Jr., Guenther P. R., Waterman L. S., Chin J. F. S. (1976). *Atmospheric carbon dioxide variations at Mauna Loa Observatory, Hawaii*. Tellus. 28, 538-551.

Kiefer L. R., Menzel F., Bahrs E. (2015). *Integration of ecosystem services into the carbon footprint of milk of South German dairy farms*. Journal of Environmental Management. 152, 11-18.

Koehler A. (2008). *Water use in LCA: managing the planet's freshwater resources*. The International Journal of Life Cycle Assessment. 13, 451-455.

Kristensen T., Mogensen L., Knudsen M. T., Hermansen J. E. (2011). *Effect of production system and farming strategy on greenhouse gas emissions from commercial dairy farms in a life cycle approach*. Livestock Science. 140 (1-3), 136-148.

Kristensen T., Sjøgaard K., Eriksen J., Mogensen L. (2015). *Carbon footprint of cheese produced on milk from Holstein and Jersey cows fed hay differing in herb content*. Journal of Cleaner Production. 101, 229-237.

Huntsinger L., Oviedo J. L. (2014). *Ecosystem Services are Social - ecological Services in a Traditional Pastoral System: The Case of California's Mediterranean Rangelands*. Ecology and Society. 19(1), 8.

Idf - International Dairy Federation. (2009). *Environmental/Ecological impact of the dairy sector: Literature review on dairy products for an environment of key issues List of environmental initiatives and influences on the sector*. Bulletin of the International Dairy Federation. 443/2010, 1-46.

Idf - International Dairy Federation. (2010). *Environmental issues at deary farm level*. Bulletin of the International Dairy Federation. 443/2010, 1-66.

Idf - International Dairy Federation. (2015). *A common Carbon Footprint Approach for Dairy*. The Idf Guide to Life cycle Assessment Methodology for the Dairy Sector. Brussels. Bulletin 479/2015.

International Livestock Research Institute (2019). *Options for the livestock sector in developing and emerging economies to 2030 and beyond*. Meat: The Future Series. World Economic Forum, Geneva, Switzerland, 28.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. (2012). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (eds. Field C. B., Barros V., Stocker T. F., Qin D., Dokken D. J., Ebi K. L., Mastrandrea M. D., MachK. J., Plattner G. K., Allen S. K., Tignor M., Midgley P. M.) Cambridge University Press, Cambridge, UK, New York, USA.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate change 2014: synthesis report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland.

Islam M., Abe H., Hayashi Y., Terada F. (2000a). *Effects of feeding Italian ryegrass with corn on rumen environment, nutrient digestibility, methane emission, and energy and nitrogen utilization at two intake levels by goats*. Small Ruminant Research. 38 (2), 165-174.

Islam M., Abe H., Terada F., Iwasaki K., Tano R. (2000b). *Effects of Levels of Feed Intake and Inclusion of Corn on Rumen Environment, Nutrient Digestibility, Methane Emission and Energy and Protein Utilization by Goats Fed Alfalfa Pellets*. Animal Bioscience. 13 (7), 948-956.

ISO - International Organization for Standardization. (2006). ISO 14040. Environmental Management- Life Cycle Assessment - Principles and framework. Geneva. 20.

ISO - International Organization for Standardization. (2006b). ISO 14044. Environmental Management- Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines. Geneva. 46.

ISO - International Organization for Standardization. (2014). Environmental management – Water footprint-principles and guidelines. [www.iso.org](http://www.iso.org)

IUCN - International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. (1980). World Conservation Strategy: Living Resource Conservation for Sustainable Development. <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/wcs-004.pdf>

Janzen H. H. (2011). *What place for livestock on a re-greening earth?*. Animal Feed for Science Technologies. 166-167, 783-796.

Jardine C. N., Boardman B., Osman A., Vowles J., Palmer J. (2012). *Methane UK*. [www.eci.ox.ac.uk](http://www.eci.ox.ac.uk)

Jones M. B., Donnelly A. (2004). *Carbon sequestration in temperate grassland ecosystems and the influence of management, climate and elevated CO<sub>2</sub>*. New Phytologist. 164(3), 423-439.

Jones H. E., Warkup C. C., Williams a., Audsley E. (2008). *The effect of genetic improvement of emission from livestock systems*. Eaap, Roma. 28.

Kaufmann, Ralph & Fitzhugh, Hank. (2008). *The Importance of Livestock for the World's Poor*. In *Perspectives in World Food and Agriculture*. Iowa State Press, Ames (IA). 137-159.

Knapp J. R., Laur G. L., Vadas P. A., Weiss W. P., Tricarico J. M. (2014). *Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: quantifying the opportunities and impact of reducing emissions*. Journal of dairy science. 97(6), 3231-3261.

Laconi S., Molle G., Cabiddu A., Pompei R. (2007). *Bioremediation of olive oil mill wastewater and production of microbial biomass*. Biodegradation. 18(5), 559-566.

Lambin E. F., Geist H. J., Lepers E. (2003). *Dynamics of land-use and land-cover change in Tropical regions*. Annual Review of Environment and Resources. 28, 205-241.

Landau S., Perevolotsky A., Bonfil D., Barkai D., Silanikove N. (2000). *Utilization of low-quality resources by small ruminants in Mediterranean agro-pastoral systems: the case of browse and aftermath cereal stubble*. Livestock Production Science. 64 (1), 39-49.

Legesse G., Ominski K. H., Beauchemin K. A., Pfister S., Martel M., McGeough E. J., Hoekstra A. Y., Kroebel R., Cordeiro M. R. C., McAllister T. A. (2017). *BOARD-INVITED REVIEW: Quantifying water use in ruminant production*. Journal of animal science. 95(5), 2001-2018.

Leinonen I. (2016). *Life cycle assessment (LCA) of intensive poultry production systems*. Achieving Sustainable Production of Poultry Meat. 1, 339-355.

Leinonen I., Williams A. G., Kyriazakis I. (2016). *Potential environmental benefits of prospective genetic changes in broiler traits*. Poultry science. 95(2), 228-236.

Leinonen I., Williams A. G., Wiseman J., Guy J., Kyriazakis I. (2012a). *Predicting the environmental impacts of chicken systems in the United Kingdom through a life cycle assessment: Broiler production systems*. Poultry science, 91(1), 8-25.

Leinonen I., Williams A. G., Wiseman J., Guy J., Kyriazakis I. (2012b). *Predicting the environmental Impacts of chicken systems in the United Kingdom through a life cycle assessment: Egg production systems*. Poultry science. 91 (1), 8-25.

Lima A., Fernandes M., Teixeira I., Frighetto R., Bompadre T., Biagioli B., Meister N., Resende K. (2016). *Effects of feed restriction and forage: Concentrate ratio on digestibility, methane emission, and energy utilization by goats*. Revista Brasileira de Zootecnia. 45, 781-787.

Luiselli D., Sazzini M., Giuliani C. (2016). *“il ruolo degli alimenti di origine animale nell'evoluzione umana”*, in Mele M., Pulina G., (a cura di), *Alimenti di origine animale e salute*, FrancoAngeli. 43-53.

Loreau M., Naeem S., Inchausti P., Bengtsson J., Grime J. P., Hector A., Hooper D. U., Huston M. A., Raffaelli D., Schmid B., Tilman D., Wardle D. A. (2001). *Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges*. Science. 294, 804-8.

- Mackenzie S. G., Leinonen I., Ferguson N., Kyriazakis I. (2015). *Accounting for uncertainty in the quantification of the environmental impacts of Canadian pig farming systems*. Journal of animal science. 93(6), 3130-3143.
- Mann M. E., Zhang Z., Hughes M. K., Bradley R. S., Miller S. K., Rutherford S., Ni F. (2008). *Proxy-based reconstructions of hemispheric and global surface temperature variations over the past two millennia*. Pans. 105, 13252-13257.
- McAllister T., Beauchemin K., McGinn S., Hao X., Robinson P. (2011). *Greenhouse gases in animal agriculture-Finding a balance between food production and emissions Preface*. Animal Feed Science and Technology. 166-167, 1-6.
- MacKichan K. A. (1951). *Estimated Water Use in the United States, 1950*. [https://:book.google.it](https://book.google.it)
- Magnusson U., Boqvist S., Doyle R., Robinson T. (2022). *Animal health and welfare for sustainable livestock systems*. Global Agenda for Sustainable Livestock, Rome.
- Makkar H. P., Tran G., Heuzé V., Ankers P. (2014). *State-of-the-art on use of insects as animal feed*. Animal feed science and technology. 197, 1-33.
- Mauch E. D., Young J. M., Serão N. V. L., Hsu W. L., Patience J. F., Kerr B. J., Weber T. E., Gabler N. K., Dekkers J. C. M. (2018). *Effect of lower-energy, higher-fiber diets on pigs divergently selected for residual feed intake when fed higher-energy, lower-fiber diets*. Journal of animal science. 96(4), 1221-1236.
- McMicheal A. J., Powles J. W., Butler C. D., Uauy R. (2007). *Food, livestock production, energy, climate change, and health*. Lancet (London, England). 370(9594), 1253-1263.
- MEA- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being*. Island Press.
- Mekonnen M. M., Hoekstra A. Y. (2012). *A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products*. Ecosystems. 15, 401-415.
- Mellor D. J., Stafford K. J. (2004). *Animal welfare implications of neonatal mortality and morbidity in farm animals*. The Veterinary Journal. 168, 118-133.
- Meyer R., Cullen B. R., Eckard R. J. (2016). *Modelling the influence of soil carbon on net greenhouse gas emissions from grazed pastures*. Animal Production Science. 56(3), 585-593.



Molden D. (2007). *Water for Food Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. Earthscan. London.

Monfreda C., Ramankutty N., Foley J. A. (2008). *Farming the planet: 2. Geographic distribution of crop areas, yields, physiological types, and net primary production in the year 2000*. *Global Biogeochemical Cycles*. 22, GB1022.

Mostert P. F., van Middelaar C. E., Bokkers E. A. M., de Boer I. J. M. (2018). *The impact of subclinical ketosis in dairy cows on greenhouse gas emissions of milk production*. *Journal of Cleaner Production*. 171. 773-782.

Mottet A., Tempio G. (2017). *Global poultry production: Current state and future outlook and challenges*. *World's Poultry Science Journal*. 73(2), 245-256.

Mottet A., de Haan C., Falcucci A., Tempio G., Opio C., Gerber P. (2017). *Livestock: On our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate*. *Global food security*. 14, 1-8.

Mottet A., Henderson B., Opio C., Falcucci A., Tempio G., Silvestri S., Chesterman S., Gerber P. J. (2016). *Climate change mitigation and productivity gains in livestock supply chains: insights from regional case studies*. *Regulation Environmental Change*. 17, 129-149.

Muck R. E. (1982). *Ureases activity in bovine feces*. *Journal of Dairy science*. 65, 2157-2163.

Müller-Lindenlauf M., Deittert C., Köpke U. (2010). *Assessment of environmental effects, animal welfare and milk quality among organic dairy farms*. *Livestock Science*. 128 (1-3), 140-148.

Nepstad D., Soares-Filho B. S., Merry F., Lima A., Moutinho P., Carter J., Bowman M., Cattaneo A., Rodrigues H., Schwartzman S., Mcgrath D. G., Stickler C. M., Lubowski R., Pires-Cabezas P., Rivero S., Alencar A., Almeida O., Stella O. (2009). *The End of Deforestation in the Brazilian Amazon*. *Science*. 326, 1350-1351.

Neumann k., Verburg P. H., Stehfest E., Müller C. (2010). *The yield gap of global grain production: A spatial analysis*. *Agricultural Systems*. 103 (5), 316-326.

Nguyen T. L. T., Hermansen J. E., Mogensen L. (2010). *Environmental consequences of different beef production systems in the EU*. *Journal of Cleaner Production*. 18 (8), 756-766.

Nisbet T. (2005). *Water use by trees*. Informestions note. Forestry Commission, Edinburgh.

Obersteiner M., Walsh B., Frank S., Havlík P., Cantele M., Liu J., Palazzo A., Herrero M., Lu Y., Mosnier A., Valin H., Riahi K., Kraxner F., Fritz S., van Vuuren D. (2016). *Assessing the land resource-food price nexus of the Sustainable Development Goals*. Science advance. 2, e1501499.

OECD - Organisation for economic cooperation and development. (2001). *Environmental indicators for food and agriculture. Volum 3: Methods and results*. [www.oecd.org](http://www.oecd.org)

O'Mara F. (2011). *De significance of livestock as a contributor to global greenhouses gas emissions today and in the near future*. Animal Feed Science Technologies. 166-167, 7-15.

ONU - Organizzazione delle Nazioni Unite. (1987). Report of the World Commission on Environment and Development. Our Common Future. <https://www.unep.org>

ONU- Organizzazione delle Nazioni Unite, Assemblea Generale. (2015). *Trasformare il nostro mondo: l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile*. 76° sessione, 70/1.

Øverland M., Mydland L. T., Skrede A. (2018). *Marine macroalgae as sources of protein and bioactive compounds in feed for monogastric animals*. Science Food Agriculture. 99, 13-24.

Parmesan C., Yohe G. (2003). *A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems*. Nature. 421, 37-42.

Pashaei Kamali F., Meuwissen M. P. M., Oude Lansink A. G. J. M. (2014). *Evaluation of beef sustainability in conventional, organic, and mixed crop-beef supply chain*. Proc. 9<sup>th</sup> Intl. Conf. LCA in Agri-Food Sector.

Pelletier N. (2017). *Life cycle assessment of Canadian egg production, with differentiation by hen housing system type*. Journal Cleaner Production. 152, 167-180.

Pelletier N., Ibarburu M., Xin H. (2014). *Comparison of the environmental footprint of the egg industry in the United States in 1960 and 2010*. Poultry science. 93(2), 241-255.

Penati C. A., Tamburini A., Bava L., Zucali M., Sandrucci A. (2013). *Environmental Impact of Cow Milk Production in the Central Italian Alps Using Life Cycle Assessment*. Italian Journal of Animal Science. 12 (4), e96.

Perevolotsky A., Landau S., Kababia D., Ungar E. D. (1998). *Diet selection in dairy goats grazing woody Mediterranean rangeland*. Applied Animal Behaviour Science. 57 (1-2), 117-131.

Pérez de Nanclares M., Marcussen C., Tauson A. H., Hansen J. Ø., Kjos N. P., Mydland L. T., Bach Knudsen K. E., Øverland M. (2019). *Increasing levels of rapeseed expeller meal in diets for pigs: effects on protein and energy metabolism*. Animal: an international journal of animal bioscience. 13(2), 273-282.

Perry B. D., Robinson T. P., Grace D. C. (2018). *Animal health and sustainable global livestock systems*. Animal. 12, 1699-1708.

Pfister S., Koehler A., Hellweg S. (2009). *Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA*. Environmental science & technology. 43(11), 4098-4104.

Pimentel D., Pimentel M. (2003). *World population, food, natural resources, and survival*. World Futures. 59(3-4), 145-167.

Pimentel D., Pimentel M. (2008). *Food, energy and society*. Third edizioni. CRC press.

Pimentel D., Houser J., Preiss E., White O., Fang H., Mesnick L., Barsky T., Tariche S., Schreck J., Alpert S. (1997). *Water Resources: Agriculture, the Environment, and Society*. BioScience. 47(2), 97-106.

Pirlo G., Carè S., Della Casa G., Marchetti R., Ponzoni G., Faeti V., Fantin V., Masoni P., Buttol P., Zerbinatti L., Falconi F. (2016). *Environmental impact of heavy pig production in a sample of Italian farms. A cradle to farm-gate analysis*. Science of The Total Environment. 565, 576-585.

Pirlo G., Carè S., Fantin V., Falconi F., Buttol P., Terzano G. M., Masoni P., Pacelli C. (2014). *Factors affecting life cycle assessment of milk produced on 6 Mediterranean buffalo farms*. Journal of Dairy Science. 97 (10), 6583-6593.

Pirlo G., Lolli S. (2019). *Environmental impact of milk production from samples of organic and conventional farms in Lombardy (Italy)*. Journal of Dairy Science. 211, 962-971.

Pirlo G., Speroni M. (2020). *Benessere animale. Benessere animale e sostenibilità ambientale della produzione zootecnica*. Programma Rete Rurale Nazionale 2014-

2020, Piano di azione biennale 2019-2020. Ministero delle politiche agricole e forestali (MIPAAF).

Phocas F., Belloc C., Bidanel J., Delaby L., Dourmad J. Y., Dumont B., Ezanno P., Fortun-Lamothe L., Foucras G., Frappat B., González-García E., Hazard D., Larzul C., Lubac S., Mignon-Grasteau S., Moreno C. R., Tixier-Boichard M., Brochard M. (2016). *Review: Towards the agroecological management of ruminants, pigs and poultry through the development of sustainable breeding programmes: I-selection goals and criteria*. *Animal: an international journal of animal bioscience*, 10(11), 1749-1759.

Pomar C., Remus A. (2019). *Precision pig feeding: a breakthrough toward sustainability*. *Animal frontiers: the review magazine of animal agriculture*. 9, 52-59.

Porqueddu C. (2008). *Low-Input Farming Systems in Southern Europe: the role of grasslands for sustainable livestock production*. *Low Input Farming Systems: an Opportunity to Develop Sustainable Agriculture*, 52.

Porqueddu C., González F. (2006). *Role and potential of annual pasture legumes in Mediterranean farming systems*. *Pastos*. 36(2), 125-142.

Pradhan P., Costa L., Rybski D., Lucht W., Kropp J. P. (2017). *A systematic study of Sustainable Development Goal (SDG) interactions*. *Earth's Future*. 5, 1169-79.

Prendiville R., Pierce K. M., Buckley F. (2010). *A comparison between Holstein-Friesian and Jersey dairy cows and their F1 cross with regard to milk yield, somatic cell score, mastitis, and milking characteristics under grazing conditions*. *Journal of dairy science*. 93(6), 2741-2750.

Pretty J. (2008). *Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence*. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 363, 447-465

Pouillet N., Bambou J. C., Loyau T., Trefeu C., Feuillet D., Beramice D., Bocage B., Renaudeau D., Gourdine J. L. (2019). *Effect of feed restriction and refeeding on performance and metabolism of European and Caribbean growing pigs in a tropical climate*. *Scientific reports*. 9(1), 4878.

Pulina G., Francesconi A. H. D., Mele M., Ronchi B., Stefanon B., Sturaro E., Trevisi E. (2016). *“alimenti di origine animale per un mondo sempre più popolato: le sfide per una zootecnica sostenibile”*, in Mele M., Pulina G., (a cura di), *Alimenti di origine animale e salute*. FrancoAngeli, 21-41.

Pulina G., Francesconi A. H. D., Mele M., Ronchi B., Stefanon B., Sturaro E., Trevisi E. (2011). *Sfamare un mondo di nove miliardi di persone: la sfida per una zootecnica sostenibile*. Italian Journal of Agronomy. 6, 2, 7.

Pulina G., Francesconi A. H. D., Stefanon B., Sevi A., Calamari L., Lacetera N., Del'Orto V., Pilla F., Ajmone Marsan P., Mele M., Rossi F., Bertoni G., Crovetto G. M., Ronchi B. (2017). *Sustainable ruminant production to help feed the planet*. Italian Journal of Animal Science. 16, 140-171.

Randers J. (2013). *2052. Scenari globali per i prossimi quarant'anni*. Rapporto al Club di Roma. Milano. Edizioni Ambiente.

Randolph T. F., Schelling E., Grace D., Nicholson C. F., Leroy J. L., Cole D. C., Demment M. W., Omere A., Zinsstag J., Ruel M. (2007). *Invited review: role of livestock in human nutrition and health for poverty reduction in developing countries*. Journal of Animal Science. 85 (11), 2788-2800.

Rauw W. M., García Cortés L. A., Gómez Carballar F., Garcia Casco J. M., de la Serna Fito E., Gomez-Raya L. (2019). *Feed efficiency for diet interaction on acorns vs. a commercial diet in Iberian pigs*. 70th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (EAAP), Ghent, Belgium.

Rauw W. M., Mayorga E. J., Lei S. M., Dekkers J. C. M., Patience J. F., Gabler N. K., Lonergan S. M., Baumgard L. H. (2017). *Effects of Diet and Genetics on Growth Performance of Pigs in Response to Repeated Exposure to Heat Stress*. Frontiers in genetics. 8, 155.

Rauw W. M., Rydhmer L., Kyriazakis I., Øverland M., Gilbert H., Dekkers J. C., Hermes S., Bouquet A., Gómez Izquierdo E., Louveau I., Gomez-Raya L. (2020). *Prospects for sustainability of pig production in relation to climate change and novel feed resources*. Journal of the science of food and agriculture. 100(9), 3575-3586.

Rice C. W. (1999). *Subcommittee on production and price competitiveness hearing on carbon cycle research and agriculture's role in reducing climate change*. <https://soilcarboncenter.k-state.edu/docs/Soil%20C%20testimony.pdf>

Richards C. J., Hicks B. (2007). *Processing of corn and sorghum for feedlot cattle*. The Veterinary clinics of North America. Food animal practice. 23(2), 207-vi.

Ridoutt B. G., Pfister S. (2010). *A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity*. Global Environmental Change. 20 (1), 113-120.

Rifkin J. (2001). *Ecocidio. Ascesa e caduta della cultura della carne*. Verona. Mondadori Editore.

Rockström J., Steffen W., Noone K., Persson Å., Chapin III F. S., Lambin E. F., Lenton T. M., Scheffer M., Folke C., Schellnhuber H. J., Nykvist B., de Wit C., Hughes T., Van der Leeuw S., Rodhe H., Sörlin S., Snyder P. K., Costanza R., Svedin U., Falkenmark M., Karlberg L., Corell R. W., Fabry V. J., Hansen J., Walker B., Liverman D., Richardson K., Crutzen P., Foley J. A. (2009). *A safe operating space for humanity*. Nature. 461, 472-475.

Roma R., Corrado S., De Boni A., Forleo M. B., Fantin V., Moretti M., Palmieri N., De Camillis C., Vitali A. (2015). *Life Cycle Assessment in the Live- stock and Derived Edible Products Sector*. In Life Cycle Assessment in the Agrifood Sector. Springer. 251-332.

Royal M. D., Flint A. P. F., Woolliam J. A. (2002). *Genetic and phenotypic relationships among endocrine and traditional fertility traits and production traits in holstein-friesian dairy cows*. Journal Dairy Science. 85, 958-967.

Royal Society of London (2009). *Science and the sustainable intensification of global agriculture*. <https://royalsociety>.

Rosati A., Aumaitre A. (2004). *Organic dairy farming in Europe*. Livestock Production Science. 90 (1), 41-51.

Rumpold B. A., Schlüter O. K. (2013). *Nutritional composition and safety aspects of edible insects*. Molecular nutrition & food research. 57(5), 802-823.

Sachs D. J. (2015). *L'era dello sviluppo sostenibile*, Università Bocconi Editore.

Salou T., Le Mouël C., van der Werf H. M. G. (2017). *Environmental impacts of dairy system intensification: the functional unit matters!*. Journal of Cleaner Production. 140 (2), 445-454.

Salvador S., Corazzin M., Piasentier E., Bovolenta S. (2016). *Environmental assessment of small-scale dairy farms with multifunctionality in mountain areas*. Journal of Cleaner Production. 124, 94-102.

Sapolsky R. M., Romero L. M., Munck A. U. (2000). *How to glucocorticoids influence stress responses?*. Integrating permissive, suppressive, stimulatory, and preparative actions. Endocrine reviews. 21(1), 55-89.

Sarraseca A., Milne E., Metcalf M. J., Lobley G. E. (1998). *Urea recycling in sheep: effects of intake*. The British journal of nutrition. 79(1), 79-88.

Scherer L., Pfister S. (2016). *Global Biodiversity Loss by Freshwater Consumption and Eutrophication from Swiss Food Consumption*. Environmental science & technology. 50

Schneider F., Tarawali S. (2021). *Sustainable Development Goals and livestock systems*. Revue scientifique et technique. 40 (2), 585-595.

Silanikove N. (2000a). *Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants*. Livestock Production Science. 67 (1-2), 1-18.

Silanikove N. (2000b). *The physiological basis of adaptation in goats to harsh environments*. Small Ruminant Research. 35, 181-193.

Silanikove N., Koluman N. (2015). *Impact of climate change on the dairy industry in temperate zones: Predications on the overall negative impact and on the positive role of dairy goats in adaptation to earth warming*. Small Ruminant Research. 123 (1), 27-34.

Silvestri M. (2015). *Sviluppo sostenibile: un problema di definizione*. Gentes, 2.

Skuce P. J., Bartley D. J., Zadoks R. N., MacLeod M. (2016). *Livestock health and greenhouse gas emissions*. Moredun Research Institute, Edinburgh, Scotland, 74.

Śliwiński B. J., Kreuzer M., Sutter F., Machmüller A., Wettstein H. (2004). *Performance, body nitrogen conversion and nitrogen emission from manure of dairy cows fed diets supplemented with different plant extracts*. Journal of Animal and Feed Sciences. 13(1), 73-91.

Smith P., Martino D., Cai Z., Gwary D., Janzen H., Kumar P., McCarl B., Ogle S., O'Mara F., Rice C., Scholes B., Sirotenko O. (2007). *Agriculture*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, UK. 497-540.

Smith P., Martino D., Cai Z., Gwary D., Janzen H., Kumar P., McCarl B., Ogle S., O'Mara F., Rice C., Scholes B., Sirotenko O., Howden M., McAllister T., Pan G., Romanenkov V., Schneider U., Towprayoon S., Wattenbach M., Smith J. (2008). *Greenhouse gas mitigation in agriculture*. Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences. 363, 789-813.

Souchère V., King C., Dubreuil N., Lecomte-Morel V., Le Bissonnais Y., Chalal M. (2003). *Grassland and crop trends: role of the European Union Common Agricultural*

*Policy and consequences for runoff and soil erosion.* Environmental Science & Policy. 6(1), 7-16.

Soussana J. F., Loiseau P., Vuichard N., Ceschia E., Balesdent J., Chevallier T., Arrouays D. (2004). *Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grasslands.* Soil use and management. 20(2), 219-230.

Steinfeld H., Robinson T. P., Opio C., Pica-Ciamarra U., Lopes M., Gilbert M. (2018). *Understanding sustainable agri-food systems.* Sustainable food and agriculture. 3, 295-416.

Stefanon B., Mele M., Pulina G. (2018). *Allevamento animale sostenibilità ambientale (i principi).* Milano, FrancoAgnelli.

Stefanon B., Mele M., Pulina G. (2018b). *Allevamento animale e sostenibilità ambientale (le tecnologie).* Milano, FrancoAgnelli.

Steinfeld H., Gerber P. (2010). *Livestock production and the global environment: consume less or produce better?.* Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 107, 18237-8.

Stocker T. F., Qin D., Plattner G. K., Tignor M., Allen S. K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P. M. (eds.). (2013). *IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis.* Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on *Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535.

Sturaro E., Marchiori E., Cocca G., Penasa M., Ramanzin M., Bittante G. (2013). *Dairy systems in mountainous areas: Farm animal biodiversity, milk production and destination, and land use.* Livestock Science. 158 (1-3), 157-168.

Sundquist E. T. (1993). *The global carbon dioxide budget.* Science. 259, 934-941.

Sustainable Development Solution Network. (2012). *A framework for Sustainable Development, Draft 19 December 2012,* New York, Sustainable Development Solution Network.

Tarawali S., Amanor Boadu V., Baltenweck I., de Haan N., Kohler-Rollefson I. (2019). *Innovation for sustainable livestock: livelihoods and economic growth.* Background paper for the 9° annual multi-stakeholder partnership meeting of the Global Agenda for Sustainable Livestock, 9-12 September 2019, Manhattan, KS, United States of America.



Teenstra E., Andeweg K., Vellinga T. (2016). *Manure helps feed the world: integrated manure management demonstrates manure is a valuable resource*. Practice Brief. Global Alliance for Climate Smart Agriculture, Rome, Italy, 8.

Teillard F., Anton A., Dumont B., Finn J. A., Henry B., Souza D. M., Manzano P., Milà i Canals L., Phelps C., Said M., Vijn S., White S. (2016). *A review of indicators and methods to assess biodiversity – Application to livestock production at global scale*. Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership. FAO, Rome, Italy.

Thomassen M. A., Dolman M. A., van Calker K. J., de Boer I. J. M. (2009). *Relating life cycle assessment indicators to gross value added for Dutch dairy farms*. Ecological Economics. 68 (8-9), 2278-2284.

Thoning K. W., Tans P. P., Komhyr W. D. (1989). *Atmospheric carbon dioxide at Mauna Loa Observatory 2*. Analysis of the NOAA GMCC data, 1974-1985. United States. [www.osti.gov](http://www.osti.gov)

Thórhallsdóttir A. G., Júlíusson A. D., Ógmundardóttir H. (2013). *The sheep, the market and the soil: Environmental destruction in the Icelandic highlands 1880-1910*. In Jørgensen D., Sörlin S. (eds) *Northscapes: History, Technology, and the making of Northern Environments*. Vancouver. University of British Columbia Press. 155-173.

Thornton P. K., Ericksen P. J., Herrero M., Challinor A. J. (2014). *Climate variability and vulnerability to climate change: a review*. Global change biology. 20(11), 3313-3328.

Tilman D., Clark M. (2014). *Global diets link environmental sustainability and human health*. Nature, 515 (7528), 518-522.

Tolkamp B., Wall E., Roehe R., Newbold J., Zaralis K. (2010). *Review of nutrient efficiency in different breeds of farm livestock*. SAC Consulting, Penicuik, Scotland, 105.

Torrent J., Barberis E., Gil-Sotres F. (2007). *Agriculture as a source of phosphorus for eutrophication in Southern Europe*. Soli use and Management. 23 (s1), 25-35.

Tremetsbergr L., Winckler C., Kantehardt J. (2019). *Animal health and welfare state and technical efficiency of dairy farms: possible synergies*. Animal Welfare. 28. 345-352.

Turner N. (2005). *Sustainable production of crops and pastures under drought in a Mediterranean environment*. Annals of Applied Biology. 144, 139-147.

UN- United Nations (2020). Goal 17: *Revitalize the global partnership for sustainable development*. UN, New York, United States of America. [www.un.org/sustainabledevelopment/globalpartnerships/](http://www.un.org/sustainabledevelopment/globalpartnerships/)

UNCED - United Nations conference on Environment and Development, Dichiarazione di Rio de Janeiro sull'ambiente e sullo sviluppo, 3-14 giugno 1992.

UNEP. (2002). Protecting the environment from land degradation UNEP's action in the framework of the Global Environment Facility. [https://: wedocs.unep.org](https://wedocs.unep.org)

UNGA- United Nations General Assembly, 66<sup>th</sup> Session, 2012, The Future We Want, NY, United Nation. 1, 8, 43.

United State Environmental Protection Agency- EPA (2023). Understanding Global Warming Potentials. [www.epa.gov](http://www.epa.gov)

Usai M. G., Casu S., Molle G., Decandia M., Ligios S., Carta A. (2006). *Using cluster analysis to characterize the goat farming system in Sardinia*. Livestock Science. 104(1-2), 63-76.

Van Kernebeek H. R. J., Oosting S. J., Van Ittersum M. K., Bikkers P., De Boer I. J. M. (2016). *Saving land to feed a growing population: consequences for consumption of crop and livestock products*. International Journal of Life Cycle. 21, 677-687.

Van Soest P. J. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant* (2nd ed.). Cornell University Press.

Van Huis A., Dicke M., van Loon J. J. (2015). *Insects to feed the world*. Journal of Insects as Food and Feed. 1(1), 3-5.

Vanham D., Bidoglio G. (2013). *A review on the indicator water footprint for the EU28*. Ecological Indicators. 26, 61-75.

Vanham D., Mekonnen M. M., Hoekstra A. Y. (2013b). *The water footprint of the EU for different diets*. Ecological Indicators. 32, 1-8.

Veldkamp T., Van Duinkerken G., van Huis A., Lakemond C. M. M., Ottevanger E., Bosch G., Van Boekel T. (2012). *Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets: a feasibility study*. Rapport 638. Wageningen UR Livestock Research.

Villalobos F. J., Fereres E. (1990). *Evaporation Measurements beneath Corn, Cotton, and Sunflower Canopies*. *Agronomy Journal*. 82, 6, 1153-1159.

Vitousek P. M., Aber J. D., Howarth R. W., Likens G. E., Matson P. A., Schindler D. W., Schlesinger W. H., Tilman D. G. (1997). *Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences*. *Ecological Applications*, 7(3), 737-750.

Von Keyserlingk M. A., Rushen J., de Passillé A. M., Weary D. M. (2009). *Invited review: The welfare of dairy cattle-key concepts and the role of science*. *Journal of dairy science*. 92(9), 4101-4111.

Wassenaar T., Gerber P., Verburg P., Rosales M., Ibrahim M., Steinfeld H. (2007). *Projecting land use changes in the Neotropics: the geography of pasture expansion into forest*. *Global Environmental Change*. 17, 86-104.

Welfare Quality, (2009a). *Welfare Quality assessment protocol for cattle*. Welfare Quality Consortium, Lelystad, Netherlands.

Welfare Quality, (2009c). *Welfare Quality Assessment protocol for pigs (sows and piglets, growing and finishing pigs)*. Welfare Quality Consortium, Lelystad, Netherlands.

Williams A., Audsley E., Sandars D. (2006). *Energy and environmental burdens of organic and non-organic agriculture and horticulture*. *Aspects of Applied Biology*. 79.

Williams A. G., Leinonen I., Kyriazakis I. (2016). *Environmental benefits of using turkey litter as a fuel instead of a fertiliser*. *Journal of Cleaner Production*. 113, 167-175.

Windeyer M. C., Leslie K. E., Godden S. M., Hodgins D. C., Lissemore K. D., LeBlanc S. J. (2014). *Factors associated with morbidity, mortality, and growth of dairy heifer calves up to 3 months of age*. *Preventive Veterinary Medicine*. 113, 231-240.

Woolhouse M. E., Gowtage-Sequeria S. (2005). *Host range and emerging and reemerging pathogens*. *Emerging infectious diseases*. 11(12), 1842-1847.

World Bank (2020). *PovcalNet: an online analysis tool for global poverty monitoring*. World Bank, Washington, DC, United States of America.

World Food Summit. (1996). *Rome Declaration on World Food Security*. 13-17 November. Roma.

WHO - World Health Organization (2020). *Global Health Observatory (GHO) data repository*. WHO, Geneva, Switzerland. [www.who.int/data/gho/](http://www.who.int/data/gho/)

Worldwatch Institute (2009). *Livestock and Climate Change - What if the key actors in Climate change are... cows, pigs, and chickens?*. Novembre/Dicembre. <https://awellfedworld.org>

Zhang W., Ricketts T. H., Kremen C., Carney K., Swinton S. M. (2007). *Ecosystem services and disservices to agriculture*. *Ecological Economics*. 64, 253-260.

Zehetmeir M., O'Brien D., Shalloo L., Dorfner G., Hofmann G., Heißenhuber A., Hoffmann H. (2013). *What are the most important variables predicting GHG emissions, land use and beef output of dairy farms?*. Greenhouse gases & Animal Agriculture Conference, Dublin, 23-26 June.

Zicari G. (2015). *Oltre i limiti ecologici. Ambiente, salute e cultura non rinnovabili. Produzioni di alimenti non sostenibili*. EPC editore. Roma.