



UNIVERSITÀ DI PARMA

Dipartimento di Scienze Medico-Veterinarie

Corso di Laurea Magistrale in Produzioni Animali Innovative e

Sostenibili

**Impatto ambientale dell'allevamento:
soluzioni e strategie di mitigazione**

***Environmental impact of farming: solutions
and mitigation strategies***

Relatore:

Chiar.ma Prof.ssa Maria Cristina Ossiprandi

Correlatore:

Prof.ssa Cinzia Reverberi

Laureando:

Federico Alberti

Anno Accademico 2022-2023

*"La terra è ciò che ci lega al
passato e ci proietta verso il futuro."*

Wendell Berry

INDICE:

INTRODUZIONE	1-5
---------------------------	-----

LA STORIA

DELL'ALLEVAMENTO	6-8
2.1 Allevamento nel Medioevo.....	8-16

I FATTORI CHE GUIDERANNO LO SVILUPPO DELLA ZOOTECNIA.....

3.1 Popolazione sottonutrita.....	17-20
3.2 Aumento Kcal/gg per persona.....	21-23
3.3 Aumento della domanda dei prodotti di origine animale.....	24-27

ANIMAL FOOTPRINT.....

4.1 Effetto Serra.....	30-33
4.2 Eutrofizzazione.....	34-39
4.3 Acidificazione.....	40-42
4.3.1 Direttiva 2016/2284.....	43-44

METODO LCA PER VALUTAZIONE IMPATTO

AMBIENTALE	45-52
-------------------------	-------

CAMBIAMENTI CLIMATICI SUI SISTEMI

ZOOTECNICI	53-55
6.1 THI <i>Temperature Humidity Index</i>	55-61
6.2 Effetti sulla salute.....	62-64
6.3 Effetti sui sistemi di produzione.....	64-69

COME ABBASSARE I LIVELLI DI NH3 TRAMITE L'ALIMENTAZIONE	70-76
7.1 Ridurre i livelli di NH3 nei locali di stabulazione.....	76-82
 <i>PLF.PRECISION LIVESTOCK FARMING</i>	83-87
8.1 Aumentare il benessere animale.....	87-89
8.2 BCS.....	89-91
8.3 Zoppie bovine.....	91-94
 CONCLUSIONI	96-99
BIBLIOGRAFIA	100-106
 SITOGRAFIA	107-109

Introduzione

L'impatto ambientale degli allevamenti e il cambiamento climatico rappresentano tematiche di cruciale importanza nel dibattito contemporaneo sulla sostenibilità e sulla responsabilità umana nei confronti del pianeta che abitiamo. L'allevamento, nel corso del tempo, ha assunto un ruolo sempre più significativo nell'economia globale e nelle abitudini alimentari delle società umane, ma ciò ha comportato anche una serie di problematiche legate alla sostenibilità delle nostre scelte. Questa tesi si propone di esaminare, con un'ampia prospettiva filosofica, l'impatto ambientale degli allevamenti in relazione al cambiamento climatico e di delineare obiettivi concreti per ridurre queste pressioni ambientali.

La riflessione filosofica su queste tematiche è fondamentale per comprendere la complessità dell'impatto ambientale degli allevamenti. Attraverso un'analisi filosofica e antropologica, possiamo esplorare la natura delle nostre scelte alimentari e il ruolo della nostra specie sul Pianeta (mondo naturale). La filosofia ci invita ad interrogarci sulla nostra responsabilità etica nei confronti degli animali allevati, dell'ambiente e delle future generazioni (secondo la logica

propria dello Sviluppo Sostenibile). Questa prospettiva filosofica ci offre una lente attraverso la quale possiamo valutare in modo più ampio le implicazioni delle nostre azioni e le possibili alternative per garantire un futuro sostenibile.

L'impatto ambientale degli allevamenti è strettamente correlato al cambiamento climatico, che rappresenta una delle sfide più urgenti e pressanti per l'umanità. Le attività legate all'allevamento vengono considerate tra le principali fonti di emissioni di gas serra, tra cui metano e ossido di azoto, che contribuiscono all'effetto serra e all'aumento della temperatura globale. Diversi studi scientifici hanno stabilito come il settore dell'allevamento concorra ad una significativa quota delle emissioni di gas serra a livello mondiale.

Queste emissioni di gas serra hanno impatti profondi sul nostro ambiente e sul clima del pianeta. Il cambiamento climatico è, inoltre, associato ad eventi meteorologici estremi, come ondate di calore, siccità e alluvioni, che minacciano la sicurezza alimentare e la stabilità dei diversi ecosistemi. La crescita delle emissioni di gas serra dall'allevamento e da altre attività umane sta mettendo fortemente a repentaglio la nostra capacità di mantenere un equilibrio "sostenibile" con il nostro ambiente naturale. Questa situazione richiede un'azione decisa e un cambiamento di paradigma nella nostra relazione con l'allevamento e le sue pratiche manageriali e gestionali.

Pertanto, la riduzione dell'impatto ambientale degli allevamenti diventa una priorità essenziale per affrontare il cambiamento climatico e garantire la sostenibilità delle nostre azioni. Per raggiungere tale obiettivo, è necessario adottare una serie di strategie e politiche a livello globale, nazionale e locale. Uno degli obiettivi chiave dovrebbe essere la transizione verso sistemi di allevamento più sostenibili ed ecologici, come l'allevamento estensivo e l'agricoltura rigenerativa. Questi approcci favoriscono la salute degli animali, tutelano la biodiversità e la conservazione delle risorse naturali, riducendo al contempo l'impatto sul clima.

Un altro obiettivo cruciale per ridurre l'impatto ambientale degli allevamenti è promuovere una maggiore consapevolezza e informazione tra i consumatori. Educare il pubblico riguardo ai benefici di una dieta a base vegetale o con minor consumo di prodotti di origine animale può incentivare una riduzione della domanda di carne e prodotti lattiero-caseari e, di conseguenza, una diminuzione delle attività riconducibili all'allevamento intensivo.

Inoltre, gli sforzi per ridurre l'impatto ambientale degli allevamenti dovrebbero includere incentivi e supporti finanziari per le aziende agricole che adottano pratiche sostenibili. Politiche governative mirate, come il finanziamento di tecnologie a basse emissioni di carbonio e il sostegno alle pratiche agricole rigenerative, possono facilitare la transizione verso un'agricoltura più sostenibile e rispettosa dell'ambiente.

La cooperazione internazionale è essenziale per affrontare l'impatto ambientale degli allevamenti su scala globale. Gli accordi internazionali sulla riduzione delle emissioni di gas serra e sulla sostenibilità agricola possono giocare un ruolo fondamentale nel coordinare gli sforzi a livello globale per affrontare le sfide ambientali connesse all'allevamento.

In conclusione, l'impatto ambientale degli allevamenti e il cambiamento climatico sono questioni assolutamente interconnesse che richiedono una riflessione profonda e una risposta responsabile. La prospettiva filosofica ci aiuta a esplorare i fondamenti etici delle nostre scelte e il nostro ruolo come esseri umani nella comunità globale della vita. Gli obiettivi per ridurre l'impatto ambientale degli allevamenti devono essere mirati e impegnativi, ma con una combinazione di azioni concrete, consapevolezza collettiva e politiche sostenibili, possiamo

intraprendere il cammino verso un futuro più sostenibile che garantisca di vivere in armonia con il nostro ambiente naturale.

1.La storia dell'allevamento del bestiame

L'uomo ha vissuto per milioni di anni senza animali domestici, cibandosi di piante e cacciando in maniera più o meno sistematica.

La successiva domesticazione e l'addomesticazione sono nate dal riconoscimento di vantaggi sia per l'uomo come pure per gli animali. La spiegazione di questo fenomeno può essere inquadrata dalla seguente considerazione: l'animale riceveva cibo regolarmente e protezione da agenti esterni come i predatori e l'uomo ha beneficiato della possibilità di avere facile accesso all'animale, alla sua carne, alle sue ossa, alla sua pelle senza la necessità di cacciare. Successivamente, gli animali vennero domesticati per la produzione di latte e di lana ma anche impiegati come forza lavoro, per lo sport e per le attività belliche. Nel corso dell'evoluzione di questa cooperazione, sia gli animali che l'uomo hanno modificato le rispettive abitudini di vita e gli animali, in particolare, il loro fenotipo, le capacità produttive, riproduttive e di crescita, perdendo alcune loro peculiarità cognitive che non erano più necessarie in cattività.

Allevamento nella storia Antica:

- 14.000-12.000 anni fa: prima evidenza di domesticazione (cane, funzione di guardia, di difesa e caccia)
- 11.000 anni fa: evidenze di domesticazione della pecora
- 9.000 anni fa: prime evidenze di coltivazione del suolo

L'uomo, a differenza degli altri animali, non si adatta all'ambiente, ma cerca di utilizzarlo per i propri fini.

Il primo animale ad essere domesticato è il cane. Successivamente, nel periodo mesolitico (circa 9.000 anni A.C.), l'uomo basava la propria sopravvivenza sull'attività di caccia, di pesca e di raccolta di frutta spontanea e di piante selvagge. In questo periodo l'uomo non ha influenzato l'ambiente naturale in modo significativo.

A partire dal Neolitico (8.000-3000 AC) e definitivamente nell'età del bronzo (3500-2500 AC) l'uomo sviluppa, in modo sistematico, l'attività di allevamento per la produzione di cibo.

Le tracce delle prime attività di allevamento furono trovate in medio-oriente e risalgono a circa 8000 anni A.C.

Tra il I e il VI secolo D.C., la maggior parte del cibo in Europa Centrale e Sud Scandinavia proveniva dalle attività agricole e di allevamento (bovini 56%, suini 28%, ovi caprini 16%).

1.1 Allevamento nel Medio Evo:

6-11 secolo D.C.: l'alimentazione del bestiame si basa su pascoli spontanei. L'80% della popolazione è impegnata in attività legate alla produzione di cibo (agricola e allevamento)

8-13 secolo D.C.: migliorano le tecniche di coltivazione e aumentano, di conseguenza, sia la superficie coltivata, che le rese per ettaro.

L'invenzione della ferratura dello zoccolo del cavallo permette a questa specie animale di trasportare pesi 4 volte maggiori, favorendo lo sviluppo dell'allevamento e della nascita delle prime scuole di veterinaria dedicate al cavallo (il primo veterinario è, di fatto, un fabbro)

Gestione allevamenti: gli animali vengono tenuti in regime stallino solo per i mesi invernali, quando si registra scarsità di alimenti all'esterno. In autunno avvengono le macellazioni, sia per garantire il fabbisogno alimentare nei periodi successivi, sia per ridurre il numero di

animali che dovranno essere stabulati ed alimentati nei ricoveri coperti in inverno. (Hartung et al., 2000).

Tuttavia, l'aumento della richiesta di carne e quello delle rese colturali (serve più spazio che viene sottratto alle zone pascolate dagli animali) favoriscono l'allevamento in regime stallino. In questa epoca, i suini vengono alimentati sfruttando i sottoprodotti di alcune attività (per esempio quella del fornaio che li alimenta con gli scarti del grano ma anche farina e crusca).



Figura 1. Gli animali e i pastori nel Medioevo (www.alamy.it)

L'evoluzione della zootecnia fino al diciannovesimo secolo ha seguito un percorso interessante. A partire dal 1700, vi è stato un notevole sforzo per trasformare i terreni incolti e quelli dedicati ai pascoli degli animali in terre coltivate per la produzione di alimenti vegetali destinati all'uso umano. Questo cambiamento è stato motivato dal costante miglioramento delle tecniche agricole e dall'aumento del prezzo dei cereali rispetto alla carne.

Nel corso di questo periodo, gli animali sono stati tenuti in stalle per periodi sempre più lunghi e alimentati con diete più semplici. L'accesso al pascolo era consentito solo durante i mesi estivi. (Turnbull e Reed, 1974)

Con l'introduzione della pratica della rotazione annuale dei terreni agricoli, che ha reso più efficiente l'utilizzo del suolo per la coltivazione di cereali, si è cominciato a considerare l'utilizzo specifico delle coltivazioni per produrre alimenti destinati agli animali. Tuttavia, si è verificata una "crisi" nell'allevamento animale, come sottolineato da Smith nel 1776: "Un campo destinato alla coltivazione del grano produce una quantità maggiore di cibo per la popolazione rispetto a sé fosse utilizzato per il pascolo degli animali." (libro "Ricchezza delle nazioni" (The Wealth of Nations), 1776)

Nonostante ciò, la necessità di animali è rimasta pressante, sia per il loro impiego come forza lavoro nei campi, sia per la produzione di fertilizzanti naturali come il letame per i terreni

agricoli. Questi fattori hanno spinto verso lo sviluppo dell'allevamento intensivo, un sistema di produzione animale non basato sul pascolo. Questo approccio presenta diversi vantaggi:

- Richiede meno terreno rispetto al pascolo grazie alle coltivazioni specifiche, consentendo di nutrire un numero simile di animali in uno spazio più ridotto.
- Permette la produzione e la conservazione del letame al coperto per un utilizzo diretto come fertilizzante.
- Consente di alimentare gli animali in modo adeguato durante tutto l'anno.
- La salute degli animali non è compromessa, purché abbiano accesso a uno spazio aperto come un paddock, una moderna area di esercizio.

A causa dell'incremento della richiesta di cibo da parte della crescente popolazione urbana, gli studiosi si dedicano al miglioramento delle produzioni animali e vegetali. Emerge l'importanza di una nutrizione ottimale per gli animali e l'urgenza di ricorrere a pratiche di allevamento di qualità. Ad esempio, si comprende la necessità di non aumentare in modo eccessivo la densità animale negli allevamenti, poiché ciò metterebbe a rischio la salute degli animali, a causa di un incremento delle concentrazioni di gas nocivi rilasciati dalla decomposizione dei rifiuti.

Nel XVIII secolo, l'epidemia di peste bovina causa la morte di milioni di capi bovini in Europa. In Inghilterra, per contenere la diffusione della malattia, viene introdotta per la prima volta la pratica dell'abbattimento dei capi malati o sospetti, una strategia di eradicazione delle malattie ancora in uso oggi (tecnicamente definito come *stamping-out*). Parallelamente, l'epidemia stimola la fondazione di Scuole di Medicina Veterinaria in Europa.

Nel XIX secolo, si osserva un aumento dell'allevamento intensivo, sebbene con variazioni nelle dinamiche a seconda della specie considerata. Il numero di vacche da latte allevate aumenta notevolmente fino agli anni '50. Successivamente, pur mantenendo gli stessi livelli di produzione, si assiste a una riduzione del numero di capi, con meno individui ma più produttivi. Per quanto riguarda avicoli e suini, si registra un costante aumento del numero di capi allevati fino alla fine del XIX secolo. Tuttavia, verso la fine del XX e l'inizio del XXI secolo, si verifica una drastica diminuzione del numero di allevamenti, che ora gestiscono un maggior numero di animali.

ANNI REGIONI	Totale aziende con allevamenti (a)	Bovini e bufalini		Suini		Ovini		Conigli		Allevamenti avicoli		Poli da carne	
		Aziende	Capi	Aziende	Capi	Aziende	Capi	Aziende	Capi	Aziende	Capi	Aziende	Capi
2003	358.663	147.849	6.261.130	124.442	8.580.155	78.591	8.166.979	56.203	7.376.331	140.378	172.978.730	90.307	107.596.984
2005	302.264	143.800	6.179.541	102.781	8.757.641	74.881	6.991.138	30.469	7.047.329	74.338	149.064.470	43.679	90.387.988
2007	309.468	146.993	6.364.355	100.952	9.040.247	75.383	6.790.053	30.209	9.155.889	75.280	157.227.881	52.215	93.255.182
2010	206.781	125.882	5.952.991	26.197	9.331.314	51.096	6.782.179	9.346	7.194.099	23.953	167.512.019	13.213	94.947.711
2013 - PER REGIONE													
Piemonte	17.578	12.628	752.084	915	1.208.377	1.667	105.387	176	938.084	699	9.427.745	278	5.634.654
V.d'Aosta/ V.d'Aoste	1.086	856	30.518	9	43	43	816	3	78	9	221	-	-
Liguria	1.698	767	14.621	90	618	339	9.566	165	1.900	435	66.158	166	9.291
Lombardia	18.070	11.164	1.419.309	2.376	4.309.738	1.518	81.985	297	105.212	1.402	26.380.230	888	13.659.568
Trentino- A. Adige/ Südtirol	12.671	9.957	177.061	384	5.464	2.950	75.652	83	4.856	625	734.581	21	439.713
Bozzeno/ Bozen	10.795	8.721	134.250	298	2.214	2.730	46.608	3	16	593	63.883	3	26
Trento	1.876	1.236	42.811	86	3.250	220	29.044	80	4.840	32	670.698	18	439.687
Veneto	14.757	9.628	762.413	2.675	824.446	691	72.950	771	4.217.530	3.216	49.126.021	1079	31.130.554
Friuli- Venezia Giulia	2.769	1.924	86.164	575	199.658	197	10.776	176	129.570	391	6.456.814	136	5.080.244
Emilia- Romagna	9.800	6.047	529.670	1.107	1.085.506	1.576	115.262	225	329.666	643	25.257.612	351	8.598.669
Toscana	7.911	2.686	88.674	1.121	182.790	2.878	415.106	454	28.508	735	1.806.377	486	823.525
Umbria	4.661	2.045	48.235	568	112.975	2.472	131.473	363	15.188	522	5.707.134	439	3.672.773
Marche	4.284	2.687	78.169	1.126	113.014	1.158	145.702	153	381.947	278	9.922.815	199	8.090.818
Lazio	14.577	10.727	269.892	869	45.093	4.001	590.818	445	73.070	1.224	3.260.845	575	1.941.380
Abruzzo	6.995	3.133	61.208	1.907	81.053	3.602	198.684	571	57.371	1.099	5.823.951	853	5.482.391
Molise	3.253	1.901	54.185	272	22.898	1.558	55.324	163	4.242	558	7.745.425	318	7.727.187
Campania	14.613	8.572	443.678	3.694	110.197	4.981	234.268	3.056	250.984	4.354	3.802.936	4168	2.825.379
Puglia	6.052	3.515	175.181	692	39.659	2.358	251.930	97	160.235	607	3.662.683	208	2.892.676
Basilicata	6.560	2.512	89.771	369	54.646	5.199	262.484	30	136.164	133	269.676	71	265.662
Calabria	8.854	3.938	93.559	896	40.551	4.835	275.531	177	43.377	513	536.509	401	81.126
Sicilia	13.500	8.404	315.809	823	41.910	6.028	761.854	65	4.828	563	4.454.785	39	2.378.879
Sardegna	19.842	8.047	236.886	6.114	128.457	12.277	2.950.877	166	5.972	582	584.425	236	4.342
Nord-ovest	38.432	25.415	2.216.532	3.390	5.518.776	3.567	197.754	641	1.045.274	2.545	35.874.354	1.332	19.303.513
Nord-est	39.997	27.556	1.555.308	4.741	2.115.074	5.414	274.640	1.255	4.681.622	4.875	81.575.028	1.587	45.249.180
Centro	31.433	18.145	484.970	3.684	453.872	10.509	1.273.099	1.415	498.713	2.759	20.697.171	1.699	14.528.496
Sud	46.327	23.571	917.582	7.830	349.004	22.533	1.278.221	4.094	652.373	7.264	21.841.180	6.019	19.274.421
Isole	33.342	16.451	552.695	6.937	170.367	18.305	3.712.731	231	10.800	1.145	5.039.210	275	2.383.221
ITALIA	189.531	111.138	5.727.087	26.582	8.607.093	60.328	6.736.445	7.636	6.888.782	18.588	165.026.943	10.912	100.738.831

Figura 2. Capi allevati in Italia e nelle singole regioni (www.izs.it)

Oggi e in prospettiva futura, l'evoluzione delle attività relative all'allevamento animale si caratterizza per l'intensificazione e la specializzazione. Gli allevamenti intensivi operano all'interno di strutture coperte durante tutto l'anno, con una elevata densità di animali e un alto grado di meccanizzazione e automazione. Questo si riflette sulla gestione dell'alimentazione, sull'approvvigionamento idrico, sulla gestione dei rifiuti e sulla ventilazione degli ambienti, riducendo notevolmente la necessità di manodopera. D'altra parte, gli allevamenti specializzati si dedicano all'allevamento di una singola specie, generalmente selezionata per una specifica razza specializzata in una particolare tipologia produttiva. Questi allevamenti si differenziano notevolmente dall'immagine tradizionale di allevamenti all'aperto con diverse specie. A partire dagli anni '60, si è diffuso il concetto di "*Animal Machines*", che ha introdotto una visione degli animali come unità biologiche, allevate in condizioni che potrebbero compromettere il loro benessere a favore di un obiettivo commerciale. Questa prospettiva ha, senza alcun dubbio, contribuito a una percezione negativa dell'allevamento intensivo. (libro "*Animal Machines*" Ruth Harrison 1964 pag.30 a 150)

Tuttavia, va notato che gran parte della popolazione trae vantaggio dai benefici economici derivanti dall'avanzamento degli allevamenti, e in alcune parti dell'Europa è possibile acquistare carne suina a prezzi accessibili. In alcune regioni europee, la concentrazione degli

allevamenti intensivi ha causato problemi ambientali come l'inquinamento da odori (contenenti gas nocivi che, tal volta, rendono l'aria irrespirabile), liberazione massiva di ammoniaca, polvere, microrganismi ed emissioni di aerosol (polveri sottili) nell'aria. (Hartung et al., 2000).

Gli allevamenti intensivi richiedono un minor numero di lavoratori, il che porta a una minore comprensione delle procedure utilizzate negli allevamenti moderni da parte della popolazione, generando una crescente disconnessione tra gli allevatori e il pubblico. Un esempio interessante è il cambiamento nei comportamenti alimentari: nel primo Novecento, una casalinga tedesca spendeva il 57% del suo reddito per l'acquisto di cibo, mentre oggi questa cifra è scesa al 14%. Questa trasformazione ha spostato l'attenzione su questioni come il benessere degli animali, la sicurezza alimentare, l'impatto ambientale dell'allevamento e la riduzione dell'utilizzo degli antibiotici in allevamento.

Oggi non è sufficiente fornire cibo a prezzi accessibili; i produttori devono rispondere anche ad altre aspettative e specifiche richieste dei consumatori e della società. Gli aspetti etici dell'allevamento stanno guadagnando sempre più importanza, e l'obiettivo principale dei professionisti del settore è generare un approccio sistemico che preveda la connessione tra produttori e società. Pertanto, la sostenibilità dell'allevamento non si limita all'aspetto

ambientale, sebbene rimanga fondamentale, ma riguarda anche il miglioramento delle condizioni di salute e benessere degli animali allevati.



Figura 3. Allevamento bovino nei tempi moderni

2.I fattori che guideranno lo sviluppo della zootecnia

2.1 Popolazione sottonutrita

Lo sviluppo della zootecnia mondiale è destinato ad essere plasmato da una serie di fattori significativi nei prossimi anni. In primo luogo, assistiamo a una diminuzione della popolazione sottonutrita in tutto il mondo. Questo è un progresso cruciale poiché indica una maggiore accessibilità e disponibilità di cibo, inclusi prodotti animali come carne, latte e uova. Mentre la fame persiste in alcune regioni, vi sono segnali positivi di miglioramenti nella sicurezza alimentare, in parte grazie alla crescita della zootecnia. Le tecnologie e le pratiche avanzate nell'allevamento animale hanno contribuito ad incrementare la produzione di proteine animali, riducendo il rischio di carestia in molte comunità.

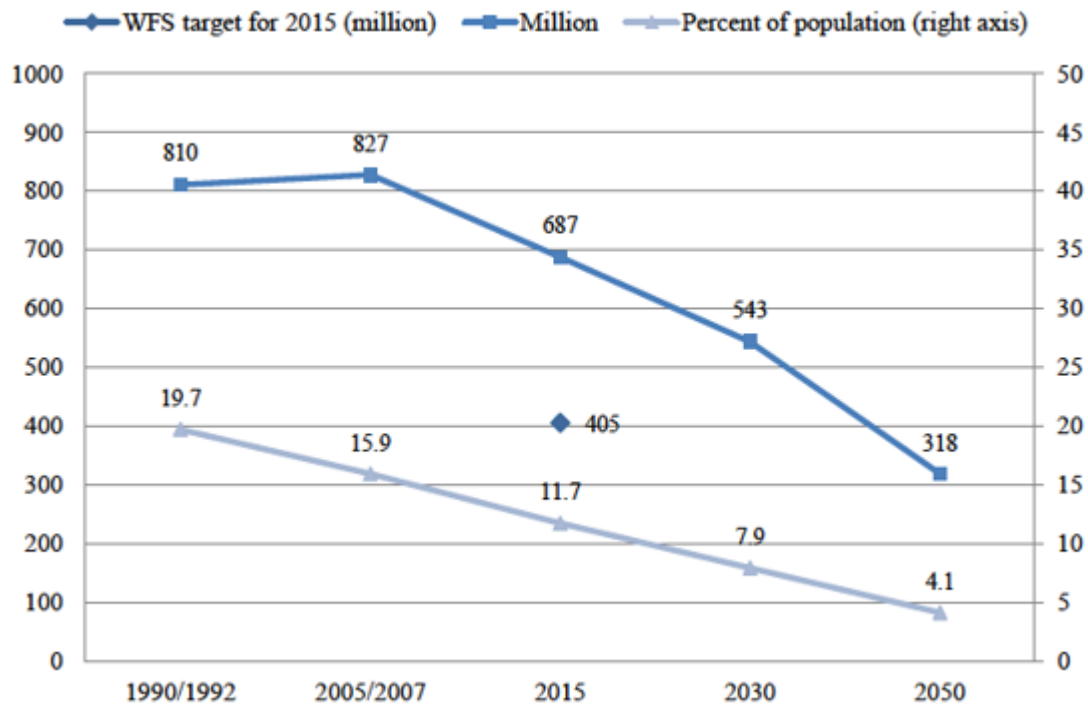
La diminuzione della popolazione sottonutrita è un obiettivo fondamentale nell'ambito della sicurezza alimentare globale e rappresenta uno dei progressi più significativi nell'ultimo decennio (come ribadito dal Goal 2 dell'Agenda 2030: sconfiggere la fame). Questo fenomeno è il risultato di una serie di fattori e sforzi congiunti a livello internazionale, ma

rappresenta anche una sfida continua. Innanzitutto, è importante sottolineare come la sotto nutrizione sia stata una realtà diffusa in molte parti del mondo per molti decenni. Le persone affette da sottalimentazione cronica hanno sperimentato carenze di nutrienti essenziali, tra cui proteine, vitamine e minerali. Questa situazione ha portato a una serie di problemi di salute, tra cui ritardo nella crescita, malnutrizione e compromissione del sistema immunitario. Inoltre, la sottalimentazione ha contribuito alla perpetuazione del ciclo della povertà in molte comunità. (O. F. Godber et al., 2014)

Tuttavia, negli ultimi anni, c'è stata una significativa riduzione della popolazione sottanutrita o malnutrita. Questo progresso è stato raggiunto grazie a una combinazione di fattori, tra cui miglioramenti nelle pratiche agricole, distribuzione più efficace di alimenti e risorse, programmi di assistenza alimentare, migliori accesso all'acqua potabile e all'igiene, oltre a sforzi di educazione alimentare e di sensibilizzazione sulla nutrizione. Organizzazioni internazionali come l'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Alimentazione e l'Agricoltura (FAO), il Fondo Internazionale per lo Sviluppo Agricolo (IFAD) e il Programma Alimentare Mondiale (PAM) hanno svolto un ruolo chiave nella lotta alla sottalimentazione. È importante sottolineare che la diminuzione della popolazione sottanutrita è in calo, ma la sfida della fame e della malnutrizione non è stata completamente superata. Si registrano ancora milioni di

persone che lottano per ottenere cibo sufficiente e nutriente ogni giorno, e la pandemia di COVID-19 ha ulteriormente complicato la situazione, portando a crisi alimentari in diverse parti del mondo. (www.globalhungerindex.org)

Per affrontare in modo sostenibile la fame e la malnutrizione, è necessario continuare a concentrarsi su soluzioni a lungo termine, come l'aumento della produzione alimentare, la promozione di pratiche agricole sostenibili, l'accesso equo alle risorse e agli alimenti, l'istruzione alimentare e la promozione di una dieta equilibrata. Inoltre, la comunità internazionale deve impegnarsi a livello globale per affrontare le cause strutturali della fame, tra cui la povertà, le disuguaglianze economiche e l'instabilità politica.



Alexandratos, N. and J. Bruinsma. 2012. *World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision*. ESA Working paper No. 12-03. Rome, FAO.

Figura 4. Schema popolazione sottanutrita

2.2 Aumento delle Kcal/giorno per persona

Un altro fattore cruciale che modellerà il futuro della zootecnia è l'aumento delle calorie giornaliere per persona. Con la crescita demografica e lo sviluppo economico, la domanda di cibo sta aumentando, e questa richiesta crescente non riguarda solo la quantità, ma anche la qualità. Le persone cercano di consumare alimenti più nutrienti e proteici, e i prodotti animali sono una fonte importante di questi nutrienti.

Di conseguenza, il settore zootecnico sta affrontando la sfida di aumentare la produzione per soddisfare questa crescente richiesta calorica, ma allo stesso tempo deve considerare come affrontare la sfida in modo sostenibile per mitigare l'impatto ambientale.

La crescita economica rappresenta uno dei principali *driver* di questo fenomeno. Molti paesi in via di sviluppo hanno sperimentato una crescita economica costante, con un aumento del reddito delle famiglie. Questo ha permesso alle persone di accedere a una dieta più diversificata e di consumare una quantità maggiore di cibo. La maggiore disponibilità di denaro ha reso possibile l'acquisto di prodotti alimentari più costosi e nutrienti, tra cui carne, latte, frutta e verdura.

Inoltre, è ormai assodato che l'urbanizzazione ha portato a cambiamenti significativi nelle abitudini alimentari. Con il crescente numero di persone che si trasferiscono dalle zone rurali alle città, si è registrata una maggiore esposizione a una varietà di cibi e stili alimentari. Le città offrono un accesso più facile a ristoranti, supermercati e mercati, presso i quali è possibile trovare una gamma più ampia di prodotti alimentari, inclusi quelli confezionati e processati.

Le campagne di sensibilizzazione e i programmi governativi di promozione della nutrizione hanno anche essi giocato un ruolo importante nell'aumentare la consapevolezza dell'importanza di una dieta equilibrata. Questi sforzi hanno contribuito a educare le persone sui benefici di una dieta ricca di nutrienti e hanno incoraggiato l'adozione di abitudini alimentari più salutari.

Tuttavia, è importante notare che l'aumento delle calorie giornaliere per persona presenta anche oggettive sfide. Con una maggiore disponibilità di cibo, vi sono crescenti preoccupazioni per i problemi legati all'obesità e alle malattie legate all'alimentazione (patologie metaboliche). Le diete ad alto contenuto calorico e ricche di grassi e zuccheri

possono aumentare il rischio di malattie cardiache, cardiovascolari, diabete ed altre patologie correlate all'alimentazione. (www. scienzainrete.it)

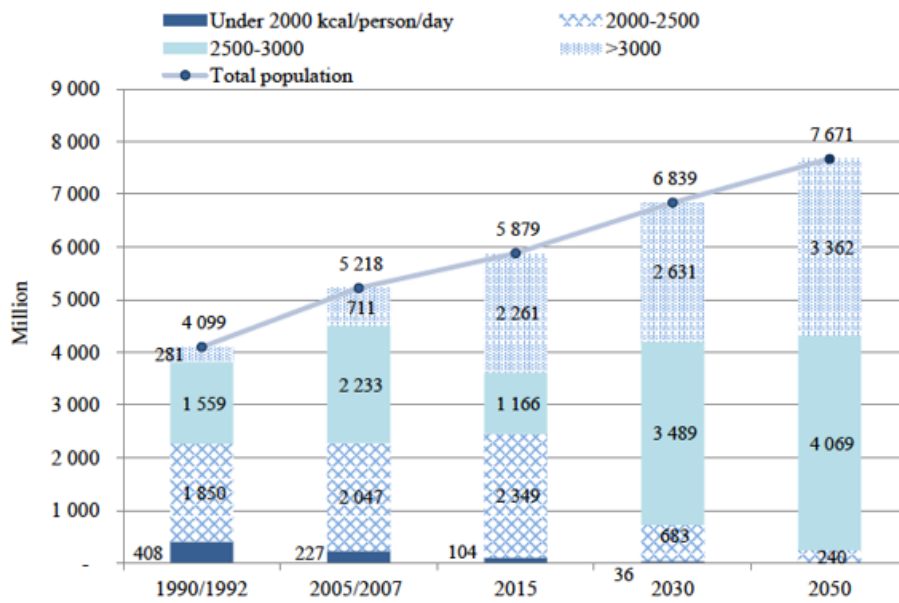


Figura 5. Paesi in via di sviluppo: popolazione che vive in paesi con una data Kcal/persona/giorno (vct.com.vn)

2.3 Aumento della domanda dei prodotti di origine animale

L'aumento della domanda di prodotti di origine animali è un altro fattore chiave che guiderà ed indirizzerà lo sviluppo della zootecnia. Molti paesi in via di sviluppo stanno vivendo una crescita economica, e con essa, c'è una maggior capacità di spesa per prodotti animali come carne, latte e uova. Questo aumento della domanda presenta opportunità significative per l'industria zootecnica, ma comporta anche sfide legate alla produzione sostenibile e alla gestione delle risorse naturali. È fondamentale bilanciare la crescita della produzione con la necessità di preservare l'ambiente e garantire il benessere degli animali.

Negli ultimi decenni, abbiamo assistito a un considerevole aumento della domanda di prodotti di origine animale, con particolare riferimento alla carne bovina, suina e pollame. Questa tendenza è stata guidata da diversi fattori chiave che hanno influenzato le preferenze alimentari e le abitudini di consumo in tutto il mondo. La crescita demografica ha svolto un ruolo fondamentale. Con una popolazione mondiale in costante espansione, c'è una maggiore richiesta di alimenti proteici di alta qualità, come la carne. La carne bovina, suina e il pollame sono fonti significative di proteine, vitamine e minerali essenziali, che sono essenziali per una dieta equilibrata e per la salute umana. l'aumento del reddito in molte parti del mondo ha

permesso alle persone di accedere a una dieta più diversificata e ricca di carne. La classe media in crescita in molti paesi ha maggiori risorse finanziarie per acquistare carne con regolarità, trasformando la carne da un lusso occasionale a un elemento comune nella dieta quotidiana.

Inoltre, i cambiamenti nei modelli alimentari e nell'urbanizzazione stessa hanno contribuito all'aumento del consumo di carne. Le società sempre più urbanizzate, infatti, spesso abbracciano uno stile di vita più veloce e conveniente, il che ha portato a un aumento dei pasti fuori casa. I ristoranti e i *fast food* offrono spesso piatti a base di carne, rendendo la carne più facilmente accessibile. (www.nature.com - Steps to sustainable livestock)

L'innovazione nel settore alimentare ha anche contribuito all'aumento della domanda di carne, con nuovi prodotti e preparazioni che rendono la carne più appetibile e conveniente. Ad esempio, alimenti pronti all'uso, alimenti precotti e prodotti a base di carne processata hanno conquistato una parte significativa del mercato alimentare.

	2005/2007	2050	2080	2100
Population (million)- UN 2008 Revision	6 592	9 150	9 414	9 202
<i>Population (million)- UN 2010 Revision</i>	<i>6 584</i>	<i>9 306</i>	<i>9 969</i>	<i>10 125</i>
kcal/person/day	2 772	3 070	3 200	
Cereals, food (kg/capita)	158	160	161	
Cereals, all uses (kg/capita)	314	330	339	
Meat, food (kg/capita)	38.7	49.4	55.4	
Oilcrops (oil. equiv.), Food (kg/cap)	12.1	16.2	16.9	
Oilcrops (oil. equiv.), all uses (kg/cap)	21.9	30.5	33.8	
Cereals, production (million tonnes)	2 068	3 009	3 182	
Meat, production (million tonnes)	258	455	524	
Cereal yields (tonnes/ha; rice paddy)	3.32	4.30	4.83	
Arable land area (million ha)	1 592	1 661	1 630	

Alexandratos, N. and J. Bruinsma. 2012. *World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision*. ESA Working paper No. 12-03. Rome, FAO.

Figura 6. Consumo alimenti dal 2005 al 2100

Questi fattori interconnessi delineano una sfida complessa ma cruciale per l'industria zootecnica e richiedono soluzioni innovative per garantire un futuro in cui il settore possa prosperare e contribuire positivamente alle esigenze alimentari della crescente popolazione globale, senza compromettere l'ambiente o il benessere degli animali.

TABLE 1. POPULATION OF THE WORLD AND MAJOR AREAS, 2015, 2030, 2050 AND 2100, ACCORDING TO THE MEDIUM-VARIANT PROJECTION

<i>Major area</i>	<i>Population (millions)</i>			
	<i>2015</i>	<i>2030</i>	<i>2050</i>	<i>2100</i>
World	7 349	8 501	9 725	11 213
Africa	1 186	1 679	2 478	4 387
Asia	4 393	4 923	5 267	4 889
Europe	738	734	707	646
Latin America and the Caribbean	634	721	784	721
Northern America	358	396	433	500
Oceania	39	47	57	71

Source: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015). *World Population Prospects: The 2015 Revision*. New York: United Nations.

Figura 7. Popolazione mondiale futura

3. Animal footprint

L'Animal Footprint è un concetto cruciale nel contesto della sostenibilità ambientale e dell'agricoltura. Questa metrica fornisce un quadro chiaro dell'impatto ecologico delle produzioni zootecniche e delle relative conseguenze per l'ambiente e la società. In questo capitolo, esploreremo in dettaglio cos'è *l'Animal Footprint* e come può essere utilizzato per valutare e migliorare la sostenibilità delle produzioni di origine animale.

Le produzioni zootecniche rappresentano una tra le principali fonti di emissioni di GHG (*Greenhouse Gas*) a livello globale. Queste emissioni sono principalmente attribuibili all'allevamento di animali, in particolare all'allevamento bovino, che produce metano durante il processo di digestione. *L'Animal Footprint* ci fornisce un modo efficace per calcolare quanto GHG viene emesso per produrre un determinato quantitativo di carne, di latte o di altri prodotti di origine animale. Questa misura è cruciale per comprendere e affrontare il contributo dell'allevamento alle sfide legate ai cambiamenti climatici.

Altro aspetto determinante per quanto riguarda *l'Animal Footprint* è il ruolo svolto dell'acqua che costituisce una risorsa preziosa e limitata; le produzioni zootecniche richiedono notevoli

quantità di acqua per l'irrigazione dei pascoli, la produzione di mangime e le esigenze idriche degli animali stessi. *L'Animal Footprint* aiuta a quantificare il consumo d'acqua associato a questi processi. Questo è di particolare importanza in aree con risorse idriche scarse, dove la gestione sostenibile dell'acqua è essenziale per la sopravvivenza delle comunità e la salute degli ecosistemi. Le produzioni zootecniche possono minacciare la biodiversità attraverso la conversione di *habitat* naturali, l'uso eccessivo di pesticidi e fertilizzanti per produrre mangime per il bestiame. *L'Animal Footprint* valuta come queste attività possano mettere a rischio gli ecosistemi e le specie locali, contribuendo così all'effetto negativo complessivo delle produzioni di origine animale sulla biodiversità.

L'Animal Footprint è, quindi, uno strumento fondamentale per misurare l'impatto ambientale delle produzioni di origine animale. Fornisce una visione completa delle implicazioni ecologiche di queste produzioni, consentendo ai governi, alle aziende agricole e ai consumatori di prendere decisioni informate per ridurre l'impronta del loro consumo di prodotti di origine animale e promuovere pratiche agricole più sostenibili. La consapevolezza dell'*Animal Footprint* è imprescindibile nel percorso verso un sistema alimentare più rispettoso dell'ambiente. (“Quanto impatta davvero l'allevamento bovino” Orlando Fortunato 19 ottobre 2022)

3.1 Effetto serra

Consente alla Terra di trattenere parte dell'energia solare, limitare l'escursione termica, permettere una temperatura mite e creare le condizioni per la formazione dell'acqua. Parte dell'energia radiante proveniente dal Sole viene riflessa dall'atmosfera; una parte riesce ad attraversare l'atmosfera, raggiungere la superficie terrestre e scaldare terra e mari. La terra non trattiene tutta questa energia e una parte di essa viene riflessa sotto forma di radiazioni infrarosse. Queste, a loro volta, in parte sfuggono e in parte vengono trattenute dall'atmosfera. La capacità dell'atmosfera di trattenere radiazioni infrarosse dipende dalla presenza di alcuni gas (cosiddetti gas ad effetto serra) che, per la loro conformazione stereochimica asimmetrica, sono penetrabili dai raggi solari, ma sono in grado di trattenere raggi infrarossi. Il riscaldamento globale è il risultato dell'elevata presenza di gas ad effetto serra nell'atmosfera. L'incremento delle emissioni di questi gas rispetto ai livelli naturali può essere attribuito sia a eventi naturali, come le eruzioni vulcaniche, sia alle attività umane.

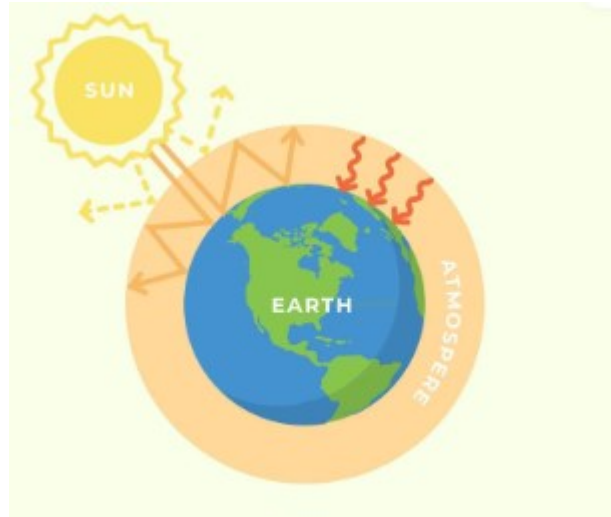


Figura 8. Effetto serra (/it.vecteezy.com)

I gas climalteranti sono: Vapore acqueo (H_2O), Anidride Carbonica (CO_2), Metano (CH_4), Protossido di azoto (N_2O), Esafluoruro di Zolfo (SF_6), Idroclorofluorocarburi (HcFc).

Il principale responsabile dell'effetto serra è il vapore acqueo, ma non è incluso nel protocollo di Kyoto del 1997 poiché è una conseguenza del riscaldamento globale, non una causa. Si forma attraverso l'evaporazione dell'acqua, che richiede energia. Se la temperatura terrestre aumenta, aumenta anche l'evaporazione dell'acqua e di conseguenza la concentrazione di

vapore acqueo. D'altra parte, gli altri gas, sebbene presenti in concentrazioni minori rispetto al vapore acqueo, sono responsabili dei processi di riscaldamento e raffreddamento. Alcuni di questi gas hanno una durata che può estendersi per anni o millenni, il che significa che si mescolano efficacemente nell'atmosfera. Questo comporta che l'impatto sul clima causato da questi gas è globale e indipendente dalla fonte di emissione del gas. Dal 1880, il 2018 è stato l'anno più caldo in Europa, con un aumento della temperatura media di oltre 1,5 °C (M.Herrero et al., 2016). Questo aumento della temperatura supera il limite stabilito dall'accordo di Parigi (COP21), firmato dalla Commissione europea sul cambiamento climatico. Si prevede che i dati climatici della Terra peggioreranno significativamente in futuro. Il cambiamento climatico ha anche effetti negativi sul settore agricolo e può danneggiare altri settori (commerciale, economico ed energetico). È stato stimato che dal 1880 al 2015, la perdita di 433 miliardi di euro nei settori primario, secondario e quaternario è stata causata dai danni alle colture agricole (M.Herrero et al., 2016).

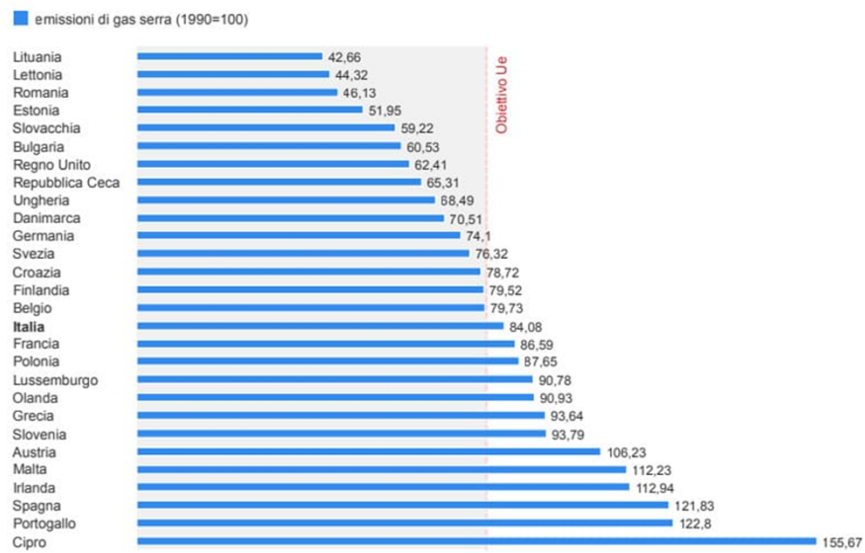


Figura 9. Emissioni di gas serra provenienti dall'agricoltura (www.ippo-engineering.eu)

3.2 Eutrofizzazione

L'arricchimento di un ambiente con nutrienti, in particolare attraverso l'apporto di composti di azoto (N) e fosforo (P), è un fenomeno principalmente legato all'attività umana (antropizzazione). L'agricoltura rappresenta la principale fonte di inquinamento da azoto, mentre il rilascio di fosforo proviene, principalmente, da insediamenti urbani e industriali. (www.arpae.it/it)

L'agricoltura, soprattutto l'allevamento del bestiame, contribuisce all'arricchimento dei terreni mediante la fertilizzazione dei campi e la deposizione diretta dei rifiuti animali sui pascoli. Quando si registra un eccesso di nutrienti nel suolo rispetto a quanto le colture e la vegetazione possono assorbire e rimuovere nel tempo, si verifica un rischio di perdita (lisciviazione e scorrimento) di questi nutrienti, principalmente nitrati (NO_3^-), nelle acque superficiali e nelle falde acquifere.

La conseguenza principale di questo fenomeno è la crescita eccessiva di alghe, nota come eutrofizzazione, seguita dalla diminuzione dell'ossigeno disciolto nell'acqua a causa del

processo di decomposizione delle alghe da parte dei batteri. Questo può portare a cambiamenti nella fauna acquatica o addirittura alla sua morte, con conseguente riduzione della biodiversità e deterioramento della qualità delle acque superficiali, rendendole meno adatte all'uso umano.

Inoltre e contestualmente, l'accumulo eccessivo di nutrienti nel suolo può comportare il rischio di inquinamento delle acque sotterranee a causa della lisciviazione dei nitrati. Concentrazioni elevate di NO_3^- nell'acqua potabile sono state associate ad un aumento del rischio di alcune malattie.

L'eccesso di azoto a livello del suolo può anche portare a un incremento delle specie vegetali nitrofile, con conseguente riduzione della biodiversità. (J. Burkholder et al., 2007)

Le perdite di azoto non dipendono solamente dalla quantità di fertilizzante applicato per unità di superficie, ma sono anche influenzate dalla sua forma chimica (se è organica, meno mobile nel terreno, o inorganica, più mobile e soggetta a perdite), dalla sua fisicità (come liquame o letame), dalle condizioni del terreno e del clima, nonché dalle pratiche di stoccaggio e distribuzione. Questi fattori esercitano un impatto sulle seguenti variabili legate all'eutrofizzazione:

- La capacità di assorbimento da parte della vegetazione circostante.
- La capacità di ritenzione all'interno del suolo.
- Lisciviazione: processo attraverso il quale gli elementi solubili del suolo, per effetto dello scorrimento e della percolazione delle acque, vengono trasportati (acque superficiali) o migrano negli strati più profondi (falde acquifere).
- Ruscellamento: movimento dell'acqua (e delle sostanze in essa disciolte) sulle superfici o negli strati sotto superficiali del terreno. È originato da pioggia o irrigazione.
- Erosione: come il ruscellamento, ma in questo caso specifico la sostanza trasportata dall'acqua non è disciolta bensì si trova in forma di particelle solide di terreno sospese in acqua.

L'azoto è un elemento fondamentale per la vita degli organismi ed è abbondante nell'atmosfera (costituisce il 78% dell'aria). Gli esseri viventi lo utilizzano per creare molte molecole biologicamente attive, come gli amminoacidi (costituenti delle proteine) e gli acidi nucleici (DNA), che regolano vari processi metabolici. In ambienti naturali, nei quali l'influenza umana è limitata, l'azoto è un fattore limitante per la crescita degli ecosistemi. L'azoto

molecolare atmosferico (N_2) non può essere utilizzato direttamente dagli organismi per formare le molecole biologiche essenziali per la crescita e la riproduzione. (Leinonen et al., 2012).

Esistono tre principali processi per convertire l'azoto molecolare in ammoniaca, necessaria per gli organismi. Due di questi processi si verificano in modo naturale (fissazione ad alta energia e fissazione biologica), mentre uno è un processo industriale (fissazione chimica) noto come reazione di Haber-Bosch. La fissazione ad alta energia sfrutta l'energia dei fulmini per trasformare l'azoto molecolare in ammoniaca, che può poi depositarsi al suolo tramite precipitazioni atmosferiche. La fissazione biologica può essere simbiotica, quando microrganismi come il *Rhizobium* vivono in simbiosi con piante superiori come nel caso delle leguminose, o non simbiotica, quando microrganismi liberi nel suolo svolgono questa stessa funzione. Questo processo è cruciale per creare forme di azoto (come ammonio e nitrati) utilizzabili dalle piante per la crescita.

Nel suolo, l'ammoniaca può anche essere prodotta dalla decomposizione della materia organica, derivante dalla decomposizione di piante, microrganismi e radici. Questa decomposizione è catalizzata da enzimi extracellulari prodotti da microrganismi e funghi nel suolo. Gli amminoacidi derivanti dalla decomposizione possono essere utilizzati direttamente

dalle piante o trasformati in ammoniaca da microrganismi nel suolo. L'ammoniaca nel suolo può essere assorbita dalle piante o ossidata da microrganismi aerobici (come *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*) in nitrati (NO_3^-), attraverso un processo chiamato nitrificazione. Questa reazione ha implicazioni ambientali significative, poiché i nitrati possono essere spostati nelle acque superficiali e nelle falde acquifere attraverso processi di lisciviazione e scorrimento, se si accumulano in quantità eccessive nel suolo. I nitrati possono essere utilizzati dalle piante per la crescita o convertiti in protossido di azoto (N_2O) e azoto molecolare (N_2) attraverso un processo noto come denitrificazione, guidato da microrganismi quali *Bacillus denitrificans* e *Micrococcus denitrificans*. Il protossido di azoto è un importante gas ad effetto serra.

Nel corso dei secoli, le attività umane hanno modificato il ciclo dell'azoto, aumentando la quantità di azoto reattivo (come NH_4^+ e NO_3^-) rispetto all'azoto molecolare nell'atmosfera. Questo è avvenuto principalmente attraverso la produzione di ammoniaca tramite il processo di Haber-Bosch, utilizzata per la produzione di fertilizzanti. Questi fertilizzanti sono stati utilizzati per aumentare le rese delle colture, portando a perdite di azoto più significative negli ecosistemi agricoli rispetto a quelli naturali.

In passato, la principale fonte di azoto per le aziende agricole era la fissazione biologica simbiotica da parte delle piante leguminose, con azoto derivante dal riciclo dei reflui zootecnici. (“Allevamenti e ambiente, studio in un’azienda “Stefano Pignedoli, Laurea Valli-Crpa spa, Reggio Emilia marzo 2013)

Tuttavia, l'intensificazione dell'agricoltura e della zootecnia dopo la Seconda guerra mondiale ha portato all'uso massiccio di fertilizzanti sintetici a base di urea per arricchire il suolo in azoto minerale, aumentando così le rese delle colture e soddisfacendo la crescente domanda di alimenti per il bestiame. In queste circostanze, i reflui di stalla sono stati considerati un rifiuto anziché una preziosa fonte di nutrienti.

3.3 Acidificazione

L'acidificazione dei suoli e delle acque è causata dall'introduzione in atmosfera, sia da fonti naturali che antropiche, di alcuni gas, tra cui gli ossidi di zolfo (SO_x), gli ossidi di azoto (come il monossido di azoto, NO, e il diossido di azoto, NO₂), e l'ammoniaca (NH₃). Questi inquinanti, una volta rilasciati nell'atmosfera, possono essere depositati sul suolo attraverso due modalità: la deposizione secca, dovuta alla caduta per gravità, e la deposizione umida, causata dalle precipitazioni. Una volta in contatto con l'acqua presente nel suolo o nell'atmosfera, gli ossidi di zolfo e di azoto vengono trasformati in acidi, principalmente acido solforico e acido nitrico. Questi acidi provocano l'acidificazione, un fenomeno che ha effetti significativi sugli ecosistemi. Gli inquinanti atmosferici possono essere trasportati per lunghe distanze nell'atmosfera prima di depositarsi, causando cambiamenti nella composizione chimica e una riduzione del pH del suolo e delle acque superficiali.

Questi cambiamenti hanno conseguenze negative sugli organismi viventi. Nelle piante, gli inquinanti atmosferici possono causare danni alle foglie, interferire con il loro metabolismo, alterare le relazioni simbiotiche con i microrganismi a livello delle radici e renderle più

vulnerabili allo stress ambientale. Negli ambienti acquatici, l'acidificazione chimica dei laghi e dei fiumi danneggia gli ecosistemi acquatici. (C.M. Groenestein et al., 2019)

Inoltre, le sostanze che contribuiscono all'acidificazione atmosferica, come l'ammoniaca, possono partecipare alla formazione delle particelle atmosferiche PM 2,5 (particelle di diametro aerodinamico inferiore o uguale ai 2,5 μm), che hanno effetti dannosi sulla salute umana, in particolare sul sistema respiratorio. Gli ossidi di azoto contribuiscono alla formazione dell'ozono troposferico, che ha impatti negativi sulla crescita delle piante e sulla salute umana. La deposizione di composti azotati favorisce l'eutrofizzazione e contribuisce al rilascio del protossido di azoto (N_2O), un gas a effetto serra che altera il clima. Le emissioni antropiche di ossidi di zolfo (SO_x) derivano dall'uso di combustibili contenenti zolfo, come nelle centrali elettriche e nelle raffinerie. Le emissioni naturali di SO_x provengono dai vulcani. Le emissioni antropiche di ossidi di azoto (NO_x) si originano da processi di combustione ad alta temperatura, con fonti come il trasporto, l'industria, la produzione di energia e il riscaldamento.

Le emissioni antropiche di ammoniaca (NH_3) provengono principalmente dalle attività agricole, in particolare quelle legate all'allevamento, che includono lo stoccaggio e la

distribuzione di fertilizzanti azotati di sintesi. Le perdite di ammoniaca avvengono durante lo stoccaggio, il trattamento (se presente) e la distribuzione dei reflui zootecnici, così come attraverso le deiezioni degli animali al pascolo. Queste emissioni sono il risultato della decomposizione dell'urea presente nei reflui, un processo guidato dall'enzima ureasi prodotto dai microrganismi presenti nelle feci e nel terreno. Nei casi in cui vengono utilizzati i fertilizzanti di sintesi, l'emissione di ammoniaca si verifica durante la distribuzione sui terreni a causa dell'idrolisi dell'urea. (C.M. Groenestein et al., 2019)

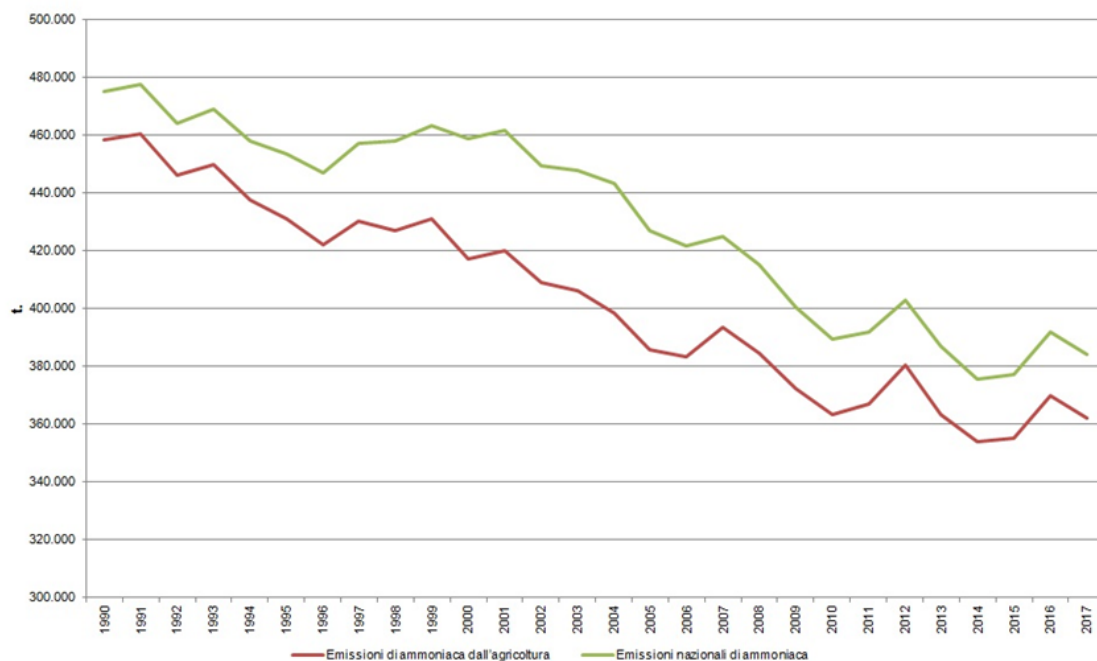


Figura 10. Emissioni di ammoniaca in Europa (/indicatoriambientali.isprambiente.it)

3.3.1 Direttiva 2016/2284

La Direttiva 2016/2284, conosciuta anche come "Direttiva NEC" (*National Emission Ceilings Directive*), è una normativa dell'Unione Europea che tratta principalmente della riduzione delle emissioni di inquinanti atmosferici dannosi da parte degli Stati membri dell'UE. La direttiva è stata adottata per affrontare il problema dell'acidificazione, dell'ossidazione

dell'ozono troposferico, dell'inquinamento atmosferico da particolato e degli eccessi di ammoniaca in atmosfera. La Direttiva NEC stabilisce limiti massimi per le emissioni nazionali di determinati inquinanti atmosferici, tra cui ossidi di zolfo (SO_x), ossidi di azoto (NO_x), composti organici volatili non metanici (COVNM), ammoniaca (NH₃) e particolato fine (PM_{2,5}).

Questi limiti mirano a ridurre l'impatto negativo dell'inquinamento atmosferico sulla salute umana, sull'ambiente e sul clima. Gli Stati membri dell'UE sono tenuti a sviluppare e attuare piani di controllo delle emissioni al fine di rispettare i limiti stabiliti dalla Direttiva NEC. La direttiva stabilisce obiettivi a lungo termine per la riduzione delle emissioni entro il 2030 e richiede il monitoraggio regolare delle emissioni e la presentazione di rapporti sulla conformità. La Direttiva NEC rappresenta uno degli sforzi dell'Unione Europea per migliorare la qualità dell'aria e ridurre l'inquinamento atmosferico su scala continentale, contribuendo così alla tutela della salute pubblica e dell'ambiente. ([/eur-lex.europa.eu](http://eur-lex.europa.eu))

4. Metodo LCA per la valutazione dell'impatto ambientale

L'analisi del ciclo di vita (*Life Cycle Assessment* o LCA in inglese) è una metodologia utilizzata per valutare l'impatto ambientale di un prodotto, di un servizio o di un processo lungo l'intero ciclo di vita, dalla produzione al consumo e alla fine della vita utile. L'obiettivo principale dell'analisi del ciclo di vita è identificare e quantificare gli impatti ambientali associati a un determinato sistema o prodotto al fine di supportare decisioni più sostenibili e ridurre l'impatto ambientale complessivo. Nello specifico, l'LCA, assiste le imprese nell'integrazione della sostenibilità ambientale nel proprio modello di *business*.

L'analisi del ciclo di vita si articola in diverse fasi:

- Definizione degli obiettivi e dello scopo: in questa fase, si stabiliscono gli obiettivi dell'analisi e si definisce lo scopo dello studio. Si specifica il sistema o il prodotto da analizzare e si identificano le fasi chiave del ciclo di vita da includere nell'analisi.

- **Inventario del ciclo di vita (Life Cycle Inventory - LCI):** durante questa fase, si raccoglie e registra una vasta quantità di dati relativi al sistema o al prodotto in esame. Questi dati riguardano le materie prime utilizzate, l'energia impiegata, le emissioni nell'ambiente e altri impatti ambientali associati a ciascuna fase del ciclo di vita.
- **Valutazione dell'impatto del ciclo di vita (*Life Cycle Impact Assessment* - LCIA):** in questa fase, i dati raccolti durante la fase di inventario vengono utilizzati per calcolare gli impatti ambientali associati a ciascuna fase del ciclo di vita. Gli impatti ambientali possono includere emissioni di gas serra, inquinamento dell'aria e dell'acqua, uso di risorse naturali, ecc.
- **Interpretazione dei risultati:** questa fase comporta l'interpretazione e la comunicazione dei risultati ottenuti dall'analisi del ciclo di vita. Gli impatti ambientali vengono valutati in base agli obiettivi stabiliti nella fase 1, e si identificano le aree in cui possono essere apportate migliorie finalizzate a ridurre l'impatto complessivo.

- Valutazione dell'analisi del ciclo di vita: in questa fase si esamina la “robustezza” e la credibilità dell'analisi del ciclo di vita, prendendo in considerazione l'accuratezza dei dati utilizzati, le metodologie impiegate e la validità delle conclusioni.

L'analisi del ciclo di vita è uno strumento estremamente utile per valutare l'impatto ambientale di prodotti o processi, e viene ampiamente utilizzata in una varietà di settori, compresi il settore industriale, l'agricoltura, l'edilizia e altri. Aiuta a identificare le aree in cui è possibile apportare miglioramenti e guidare decisioni più sostenibili, consentendo una gestione più consapevole delle risorse e dell'ambiente. (www.fao.org)

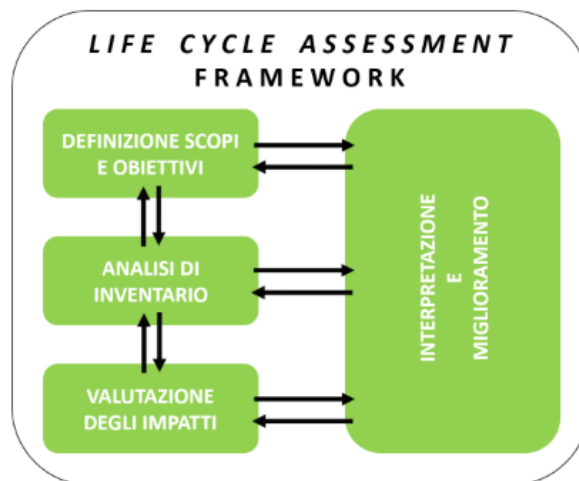


Figura 11. Schema LCA (www.reteclima.it)

Il *Life Cycle Assessment* (LCA) è un metodo sistematico che valuta l'impatto ambientale di un prodotto o servizio durante tutto il suo ciclo di vita. Questa analisi considera tutte le fasi, dall'estrazione delle materie prime alla produzione, distribuzione, uso e smaltimento finale, calcolando gli impatti ambientali associati. Il LCA può essere applicato anche ai servizi, considerando tutti gli elementi necessari per la loro erogazione.

Alla fine del processo di valutazione, vengono restituiti i dati relativi all'impatto ambientale in diverse "categorie di impatto", tra cui l'effetto serra antropogenico (*Global Warming Potential* - 100 anni), misurato in base alle emissioni di CO₂eq generate durante il ciclo di vita di un prodotto o servizio. La *Carbon Footprint* di Prodotto o Servizio rappresenta un aspetto fondamentale del LCA.

Il LCA è una base tecnica per migliorare la sostenibilità di prodotti, servizi e filiere, aiutando a comprendere l'impatto ambientale generato da questi. Una volta definiti i confini del sistema, lo studio del LCA misura l'impatto di diverse fasi produttive, identificando le aree

con l'impatto maggiore e fornendo una valutazione obiettiva e tecnica delle prestazioni ambientali.

L'obiettivo finale è ridurre e compensare gli impatti ambientali calcolati. Il LCA supporta anche la scelta di modalità produttive e materiali con una minore impronta ambientale, promuovendo l'eco-progettazione per sviluppare prodotti e processi più eco-efficienti.

Il LCA è fondamentale per implementare una Politica Ambientale Integrata dei Prodotti ed è centrale nel "*Life Cycle Thinking*", che valuta gli aspetti energetici e ambientali lungo l'intero ciclo di vita (dalla culla alla tomba o, in un'ottica circolare, dalla culla alla culla).

Il LCA è regolamentato a livello internazionale dalle norme ISO 14040, che definiscono le fasi di lavoro, compresa la definizione degli obiettivi e del campo di applicazione, la compilazione dell'inventario, la valutazione degli impatti ambientali e l'interpretazione dei risultati. (L.Paolotti et al., 2016)

In Europa, l'importanza del LCA è sottolineata nei documenti sulla Politica Integrata dei Prodotti, EMAS (uno strumento, su base volontaria, di gestione ambientale europeo che consente alle imprese e organizzazioni varie di valutare, riferire e migliorare le loro prestazioni ambientali) ed Ecolabel (marchio di qualità ecologica dell'Unione Europea). Le sue applicazioni comprendono lo sviluppo di prodotti/processi sostenibili, il *marketing* ambientale, la pianificazione strategica e l'attuazione di politiche pubbliche. L'LCA è anche fondamentale per l'etichettatura ambientale, come l'Ecolabel, e in Italia è cruciale per il *Made green in Italy*, uno schema certificativo nazionale basato sulla PEF (*Product Environmental Footprint*) e sulle EPD (*Environmental Product Declaration* ovvero Dichiarazioni ambientali di prodotto) conformi alla norma ISO 14025. (www.reteclima.it)



Figura 12. Marchio “Made green in Italy” (www.reteclima.it)

Vantaggi:

- Rivelare gli impatti ambientali sia nelle fasi iniziali che in quelle finali dell'intero processo produttivo (ad esempio, considerando come la dieta influenzi le emissioni intestinali e il carico di nutrienti per unità di superficie).
- Identificare effetti contrastanti, come quelli derivanti dall'interramento dei liquami, che se da un lato possono avere impatti positivi sulle emissioni di NH_3 dall'altro possono avere impatti negativi su quelle di N_2O .

Limiti:

- Problemi legati alla qualità dei dati, spesso ottenuti da contesti diversi e quindi non sempre comparabili.
- Mancanza di uniformità nei metodi utilizzati per condurre le analisi LCA.

- Difficoltà nella raccolta dei dati presso le aziende, spesso imputabile a diffidenze metodologiche o a oggettiva disorganizzazione in ambito aziendale.

Applicazioni:

- Definire le migliori pratiche per ridurre l'impatto ambientale.
- Confrontare sistemi o tecniche differenti, come ad esempio il confronto tra la produzione di latte e carne o tra l'agricoltura biologica e quella convenzionale.
- Utilizzare il LCA come strumento per la pianificazione aziendale e la formulazione di politiche ambientali, stabilendo obiettivi, strategie e indicatori di risultato.

(www.thegoodintown.it)

5. I cambiamenti climatici sui sistemi zootecnici

I cambiamenti climatici rappresentano una sfida crescente per i sistemi zootecnici in tutto il mondo, con un impatto significativo sulla produzione alimentare, la salute degli animali e la sostenibilità dell'agricoltura. Questi cambiamenti climatici sono il risultato di una serie di fattori, tra cui l'aumento delle emissioni di gas serra, l'innalzamento delle temperature medie globali, le variazioni nei regimi delle precipitazioni e gli eventi meteorologici estremi (*extreme weather events*). Uno degli effetti più evidenti dei cambiamenti climatici è l'aumento delle temperature medie globali. Questo aumento ha un impatto diretto sugli animali da reddito, poiché molte specie hanno una temperatura corporea ottimale che deve essere mantenuta entro determinati limiti per garantire la loro salute e produzione ottimali (massima efficienza produttiva). Temperature estreme possono portare allo stress termico negli animali, che si traduce in una riduzione della loro efficienza produttiva, una maggiore mortalità e problemi di salute. Gli allevatori devono adottare misure per proteggere gli animali dallo stress termico, come l'installazione di sistemi di raffreddamento negli allevamenti o la

modifica delle pratiche di gestione. I cambiamenti nei modelli di precipitazione sono un'altra conseguenza dei cambiamenti climatici. Questi cambiamenti possono influenzare la disponibilità di pascoli e foraggio per il bestiame, così come l'approvvigionamento stesso di acqua per gli animali. Periodi prolungati di siccità possono causare una riduzione della produzione di foraggio, costringendo gli allevatori a ricorrere ad alimenti alternativi o a ridurre la consistenza numerica del loro allevamento. Inoltre, l'accesso limitato all'acqua può mettere a rischio la salute degli animali. Gli allevatori devono sviluppare strategie per gestire la disponibilità di cibo e acqua in periodi di carestia, comprese pratiche di gestione sostenibile delle risorse idriche e alimentari. I cambiamenti climatici possono influenzare la disponibilità e la qualità delle risorse alimentari per gli animali da reddito. La riduzione della produzione di foraggio e la variabilità nella qualità delle colture possono aumentare i costi di alimentazione. Gli allevatori devono cercare fonti alternative di cibo o modificare le diete degli animali per adattarsi alle condizioni mutevoli. Questo può comportare una maggiore attenzione all'utilizzo di alimenti a base vegetale o alternative proteiche. (M.R -Downing, et.al., 2017)

L'agricoltura finalizzata al sostentamento animale richiede una quantità significativa di risorse naturali, tra cui acqua e terra. I cambiamenti climatici possono mettere sotto pressione queste

risorse, rendendo necessario un uso più efficiente e sostenibile delle stesse. Gli allevatori devono cercare di ridurre l'uso delle risorse e adottare pratiche agricole sostenibili per garantire la prosperità a lungo termine dei loro sistemi zootecnici.

5.1 THI (*Temperature Humidity Index*)

Il THI, acronimo di *Temperature Humidity Index* (Indice di Temperatura e Umidità), è un prezioso indicatore bioclimatico utilizzato per valutare il disagio causato da condizioni climatiche sfavorevoli, principalmente negli animali da reddito. Questo indice tiene conto simultaneamente dell'effetto della temperatura e dell'umidità relativa per caratterizzare lo stress da caldo negli animali.

Esistono diverse formule per calcolare il THI, ma una delle più comuni è quella sviluppata dalla NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) nel 1976. La formula utilizzata per la sua definizione è la seguente:

$$\text{THI (}^{\circ}\text{C)} = T_a - (0.55 - 0.55 \times \text{UR}) \times (T_a - 58)$$

Dove:

THI è l'indice di temperatura e umidità.

Ta è la temperatura dell'aria in gradi Celsius, calcolata a partire dalla temperatura in gradi Celsius (T) secondo la formula $[(1,8 \times T \text{ °C}) + 32]$.

UR è l'umidità relativa in percentuale.

La ricerca scientifica ha stabilito valori soglia del THI al di sopra dei quali gli animali iniziano a subire stress da caldo. Questi valori soglia variano, chiaramente, tra diverse specie zootecniche e anche all'interno della stessa specie a seconda delle diverse classi di animali.

Ecco alcuni esempi di valori soglia del THI per alcune specie:

Vacca da latte: THI maggiore di 72

Vacche da carne: THI maggiore di 75

Scrofa: THI superiore a 74

Polli da carne: THI maggiore di 78

Questi valori soglia sono utilizzati per monitorare e gestire il benessere degli animali in ambienti agricoli o zootecnici, poiché temperature elevate ed elevati tassi di umidità possono causare stress termico, influenzando la salute, il benessere e la produzione degli animali. (V. Gantne et al., 2011)

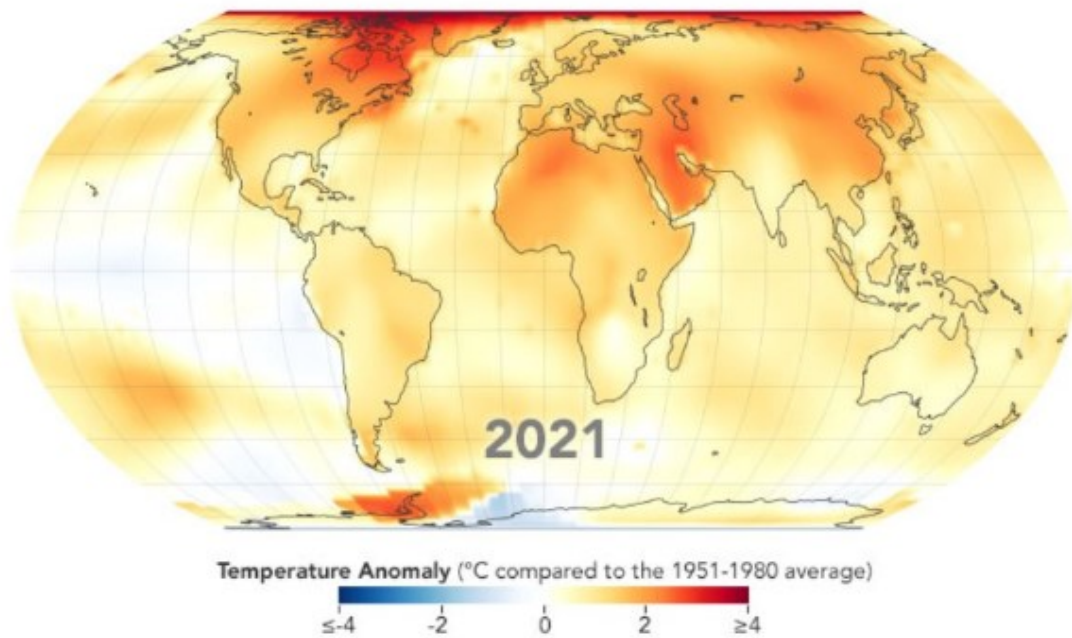


Figura 13. Temperature del 2021 (greenreport.it)

Il riscaldamento globale avrà un effetto importante, oltre che sulla salute umana, anche su salute e *performances* degli animali. La termoregolazione ha la funzione di mantenere la temperatura corporea dei mammiferi ad un livello ottimale. Ciò al fine di permettere un corretto svolgimento delle funzioni organiche, grazie a condizioni chimico-fisiche interne costanti. Una variazione della temperatura corporea provoca un'alterazione degli enzimi e delle reazioni biochimiche da essi catalizzate. La termoregolazione avviene attraverso meccanismi che determinano un equilibrio tra calore prodotto o assorbito e calore disperso. Tali meccanismi vengono poi integrati da comportamenti specifici.

La zona di comfort termico corrisponde a valori di temperatura e umidità entro le quali la dispersione di energia per assicurare l'omeotermia sono minimali. In questa zona, l'animale non esteriorizza alcune reazioni di difesa nei confronti di freddo o caldo. La zona di termoneutralità è rappresentata dagli intervalli di temperatura e umidità entro i quali le difese fisiologiche contro il riscaldamento o il raffreddamento non implicano un aumento notevole della dispersione di energia per mantenere la temperatura corporea costante al suo valore normale. Nei meccanismi regolatori, la temperatura ambiente interviene direttamente per riscaldare o raffreddare l'organismo, l'umidità, invece, agisce sull'efficacia di questi meccanismi. (A. Nardone et al., 2010)

La temperatura corporea tende a diminuire quando le perdite di calore superano la quantità di calore generata dai processi metabolici. Questo si verifica a partire dalla «temperatura critica inferiore» e quindi si ha un accrescimento della termogenesi sino ad ottenere un massimo; se, malgrado tutto, le perdite sono superiori il corpo si raffredda (ipotermia). Caso contrario a quello descritto si ha quando viene oltrepassata la temperatura critica superiore con aumento della termolisi ma, se questa è insufficiente, si ha innalzamento della temperatura corporea (ipertermia). Nella zona di omeotermia la termolisi è pari alla termogenesi con mantenimento della temperatura corporea; al di fuori di questa zona non c'è più equilibrio (omeostasi) con conseguente ipotermia o ipertermia. Il calore viene eliminato in diversi modi: con il latte, con le feci e con le urine; Sotto forma di calore sensibile dalla superficie del corpo mediante irraggiamento, convezione e conduzione. Questi processi richiedono un gradiente termico per poter essere attivi.

Utilizzando l'acqua come vettore, è possibile dissipare il calore (calore latente o insensibile) attraverso le vie respiratorie, la pelle e le prime vie digestive (l'evaporazione dell'acqua sottrae calore). Si tratta di meccanismi che agiscono su un gradiente di pressione anziché di temperatura. Questi meccanismi entrano in gioco quando la temperatura esterna non permette scambi attraverso le forme del calore sensibile. Gli animali domestici possono essere suddivisi

in due categorie in base al modo in cui gestiscono il bilancio termico per mantenere la loro temperatura corporea costante (A. Nardone et al., 2010).

- Animali che producono calore principalmente attraverso processi metabolici: questa categoria comprende suini e avicoli. Queste specie animali dipendono principalmente dalla regolazione della produzione di calore attraverso i loro processi metabolici per mantenere la temperatura corporea. Tendono a essere più sensibili allo stress termico e hanno una zona di termoneutralità più stretta, cioè un intervallo di temperature in cui non devono fare sforzi significativi per mantenere la loro temperatura corporea costante.
- Animali che disperdono il calore attraverso l'evaporazione: questa categoria include ruminanti e cavalli. Questi animali si affidano alla dispersione del calore attraverso processi come l'evaporazione del sudore per mantenere la loro temperatura corporea.

Possono tollerare un intervallo più ampio di temperature senza dover aumentare la loro produzione di calore metabolico e quindi richiedono meno energia per farlo.

Queste due strategie hanno un impatto diretto sulle pratiche di allevamento per ciascun gruppo. Ad esempio, suini e avicoli spesso vengono mantenuti a temperature più elevate, intorno ai 21°C, rispetto ai ruminanti. Questo non è fatto per prevenire lo stress da freddo in questi animali, ma piuttosto per ridurre il consumo di cibo nell'azienda agricola. Se gli avicoli fossero mantenuti a temperature più basse, mangerebbero di più perché il loro metabolismo genererebbe calore extra per mantenere la loro temperatura interna ottimale. Allo stesso modo, se la temperatura fosse aumentata oltre i 21°C, si verificherebbe una migliore efficienza nell'uso del cibo, ma anche una diminuzione nell'incremento di peso quotidiano poiché gli animali mangerebbero di meno in quanto avrebbero meno bisogno di generare calore attraverso il metabolismo.

5.2 Effetti sulla salute

Il riscaldamento globale ha un impatto diretto e indiretto sulla salute del bestiame. Gli effetti diretti includono malattie e morti legate all'aumento delle temperature e una maggiore morbilità degli animali durante eventi climatici estremi. Gli effetti indiretti sono correlati agli sforzi degli animali nell'adattarsi alle condizioni termiche ambientali e all'influenza delle condizioni climatiche sulla popolazione microbica, la diffusione di malattie trasmesse da vettori, la resistenza dell'ospite agli agenti infettivi, la scarsità di acqua e alimenti, e le malattie di origine alimentare. L'acclimatazione degli animali comporta una riduzione dell'ingestione di cibo, alterazioni nelle funzioni fisiologiche normali, compromissione della salute e una diminuzione dell'efficienza produttiva e riproduttiva. Per adattarsi a temperature elevate, gli animali riducono la quantità di calore prodotta attraverso il metabolismo. Ciò si traduce in una riduzione dell'ingestione di cibo, un aumento del tasso di respirazione per favorire la dissipazione del calore attraverso l'evaporazione, un aumento del consumo di acqua e cambiamenti nei segnali ormonali che influenzano le risposte dei tessuti agli stimoli ambientali. (A. Nardone et al., 2010)

La riduzione della produzione di calore attraverso il metabolismo comporta una diminuzione del metabolismo basale, con effetti sul metabolismo delle proteine, dei lipidi e del glucosio, oltre a modifiche nella funzionalità epatica. Lo stress termico può causare un'alterazione della funzionalità epatica, come evidenziato dalla diminuzione della secrezione di colesterolo e albumina e dalla minore attività di alcuni enzimi epatici. Questi cambiamenti possono rendere gli animali *heat-stressed* più suscettibili ai disordini metabolici, con impatti negativi sulla produzione, riproduzione e suscettibilità alle malattie, sia nei sistemi di allevamento intensivo come pure in quelli estensivi.

L'iperventilazione degli animali in stress da caldo comporta una riduzione della concentrazione di anidride carbonica (CO₂) nel sangue e della disponibilità di idrogenocarbonato (HCO₃⁻) che può essere utilizzato per stabilizzare il pH ruminale. Inoltre, la minore produzione di saliva e la ridotta assunzione di foraggi aumentano la suscettibilità delle vacche in stress da caldo all'acidosi ruminale, che può causare gravi problemi come le laminiti. Questi fenomeni sono più comuni negli allevamenti intensivi. Inoltre, le condizioni di temperatura e umidità elevate possono favorire la crescita di funghi produttori di micotossine nei mangimi. Se il consumo di mangime contaminato supera una soglia critica, si possono verificare intossicazioni acute. Tuttavia, nella maggior parte dei casi, le

concentrazioni di micotossine negli alimenti sono al di sotto della soglia critica che scatena le intossicazioni acute. In questi casi, gli effetti negativi riguardano la crescita dei giovani animali e la loro capacità di difesa immunitaria, rendendo gli animali più suscettibili alle infezioni da agenti patogeni. (T.Hasegawa et al., 2016)

5.3 Effetti sui sistemi di produzione

Gli effetti del cambiamento climatico sono oggetto di controversie. Gli impatti del cambiamento climatico sul bestiame spesso vengono analizzati concentrandosi sulla teoria del riscaldamento globale. Sebbene gli effetti del riscaldamento globale non necessariamente saranno negativi in ogni distretto del globo, è previsto un aumento significativo delle condizioni di siccità in tutto il mondo, con impatti sulla produzione di foraggio e colture. Le temperature elevate dell'ambiente possono compromettere la produzione del bestiame, influenzando la crescita, la resa e la qualità della carne e del latte, la produzione e la qualità delle uova, il peso degli animali e la qualità dei prodotti. Inoltre, le condizioni climatiche calde possono avere effetti negativi sulle *performance* riproduttive, lo stato metabolico e di salute degli animali, e la risposta immunitaria (che condiziona in modo diretto la suscettibilità

soggettiva alle malattie infettive). Il processo di desertificazione, che è aggravato dal cambiamento climatico, può ridurre ulteriormente la capacità portante dei pascoli e diminuire la resilienza dei sistemi agro-pastorali e pastorali. Ciò significa che questi sistemi avranno maggiore difficoltà nel far fronte agli impatti negativi del cambiamento climatico, tra cui la diminuzione della disponibilità di foraggio e lo stress ambientale crescente. Anche altri sistemi, come quelli misti e quelli industriali o senza terreno, potrebbero incontrare diversi fattori di rischio, principalmente legati alla variabilità della disponibilità e dei costi dei cereali, oltre alla scarsa adattabilità dei genotipi animali a condizioni mutevoli. In considerazione di queste sfide, sono possibili diverse considerazioni strategiche da applicare ai sistemi zootecnici. Ottimizzare la produttività delle colture e del foraggio, con un'attenzione particolare al miglioramento della gestione dell'acqua e del suolo, può contribuire a mitigare gli impatti del cambiamento climatico. Inoltre, è fondamentale migliorare la capacità degli animali di resistere allo stress ambientale attraverso migliori pratiche di gestione e selezione selettiva. Per guidare efficacemente l'evoluzione dei sistemi di produzione zootecnica di fronte all'aumento delle temperature e agli eventi climatici estremi, è essenziale raccogliere e integrare informazioni migliori sulla vulnerabilità biofisica e sociale. Queste informazioni dovrebbero essere strettamente integrate con gli aspetti agricoli e zootecnici al fine di

sviluppare strategie resilienti per il futuro della produzione zootecnica. (A. Nardone et al., 2010)

In generale, i sistemi di produzione zootecnica possono essere suddivisi in tre categorie principali:

- Sistemi Estensivi Basati sul Pascolo (Principalmente Ruminanti): questi sistemi operano su circa 3 miliardi di ettari di terreni che non sono idonei all'agricoltura. Sono diffusi in Africa, Asia, Australia e alcune regioni dell'America ed Europa. Questi sistemi sono principalmente dedicati all'allevamento di ruminanti e contribuiscono al 20% della produzione globale di carne bovina e al 30% di carne ovina e caprina.
- Sistemi Misti Agro-Zootecnici: questi sistemi coinvolgono circa 2,5 miliardi di ettari di terreno. La maggior parte delle specie zootecniche sono allevate in sistemi misti. Ci sono aziende specializzate nella produzione di un solo tipo di prodotto o specie (spesso una razza specifica), ma ci sono anche aziende non specializzate che allevano diverse specie animali. Questi sistemi contribuiscono in modo significativo alla produzione globale di latte e carne. Secondo la FAO, essi rappresentano il 90% della produzione di latte, il 70% della carne da ruminanti, oltre al 25% della carne da monogastrici e il

40% della produzione di uova. Questi sistemi possono essere ulteriormente suddivisi in due categorie: quelli che dipendono dalle precipitazioni per l'irrigazione (comuni in Europa centrale ed orientale, India, sud-est dell'America, Africa centrale, confine tra gli Stati Uniti e il Canada) e quelli che utilizzano sistemi di irrigazione (comuni in Europa centrale, Asia settentrionale ed orientale, alcune aree dell'Oceania, Stati Uniti e America Centrale).

- Sistemi Industriali Senza Terreni Agricoli di Proprietà: questi sistemi sono prevalentemente localizzati negli Stati Uniti (zone centrali e meridionali), in Europa, e in ampie regioni dell'Asia orientale e dell'Oceania. Questi sistemi rappresentano la principale fonte di produzione di suini e avicoli, contribuendo al 70% della produzione di carne di pollo, al 60% della produzione di uova e al 55% della produzione di carne suina.

La caratteristica distintiva di questi sistemi è che non possiedono terreni agricoli, ma invece si affidano all'acquisto di mangimi dal mercato. Gli effetti dei cambiamenti climatici su questi sistemi si rifletteranno principalmente nella disponibilità e nei costi dei mangimi, che possono

variare notevolmente in base alla loro futura disponibilità. Questi sistemi saranno quindi influenzati principalmente da fattori economici. Il cambiamento climatico avrà un impatto significativo su questi sistemi zootecnici. Ad esempio, le condizioni climatiche più calde e secche possono esporre gli animali a stress da calore prolungato, in particolare nelle regioni subtropicali e del Mediterraneo. L'esposizione ai raggi solari influisce notevolmente sulla termoregolazione degli animali, soprattutto in sistemi estensivi dove le zone d'ombra non sono sempre presenti. Il movimento degli animali alla ricerca di cibo durante il pascolo rappresenta ulteriori fonti di calore metabolico che devono essere dissipate. Inoltre, la crescente richiesta di acqua potabile potrebbe diventare un problema in aree con ridotte risorse idriche disponibili. (Come ridurre l'impronta zootecnica" degli allevamenti Cassandro Martino; Schiavon Stefano; Sturaro Enrico; L'INFORMATORE AGRARIO da pag. 65 a 71 2013)

Per preservare questi sistemi zootecnici di produzione, saranno necessarie strategie alternative innovative come la selezione genetica degli animali e dei foraggi per l'adattamento alle condizioni climatiche in evoluzione. Inoltre, l'utilizzo di razze animali termotolleranti potrebbe rappresentare un'alternativa per affrontare gli effetti del cambiamento climatico. Tuttavia, è probabile che si registrerà una riduzione della produzione in aree geografiche più colpite dai cambiamenti climatici, con potenziali impatti sulla sussistenza delle comunità

rurali dipendenti dalla pastorizia. Inoltre, nei sistemi industriali senza terreni agricoli di proprietà, gli effetti saranno principalmente di natura economica, poiché questi sistemi sono più” attrezzati” nel gestire condizioni ambientali avverse.

6. Come abbassare i livelli di NH₃ tramite l'alimentazione

Le strategie e le tecniche per affrontare le emissioni di ammoniaca nei reflui zootecnici possono essere suddivise in tre categorie:

- Categoria 1. Queste strategie sono ben fondate scientificamente e possono essere applicate o hanno il potenziale per essere applicate efficacemente nella pratica. Inoltre, esistono dati sperimentali che dimostrano la loro efficacia, per lo meno in situazioni sperimentali.
- Categoria 2. Queste strategie sono promettenti, ma richiedono ulteriori ricerche scientifiche per essere completamente validate o necessitano di ulteriori dati sperimentali finalizzati a valutarne l'efficacia (difficili da quantificare).
- Categoria 3. Queste strategie non hanno dimostrato di essere efficaci o sono difficilmente applicabili nella gestione pratica dei reflui zootecnici.

È fondamentale comprendere che le diverse fasi della gestione dei reflui zootecnici sono interconnesse, e l'effetto complessivo sulle emissioni di ammoniaca non può essere semplicemente ottenuto sommando gli effetti delle singole fasi. Il controllo delle emissioni

durante la fase di spandimento dei reflui è di particolare importanza poiché rappresenta la principale fonte di emissioni e perché è l'ultima fase del processo. (Liu et al., 2022).

Senza un adeguato controllo in questa fase, i benefici ottenuti dalle strategie di abbattimento nelle fasi precedenti, che possono essere costose, potrebbero essere vanificati. Inoltre, è essenziale considerare l'alimentazione degli animali per ottimizzare le strategie di abbattimento delle emissioni di ammoniaca. È importante notare che le diete attualmente somministrate agli animali in produzione zootecnica spesso contengono una quantità di proteina superiore a quanto effettivamente necessario. Questo surplus di proteina nelle diete viene utilizzato per tener conto di vari fattori, tra cui le differenze nei fabbisogni legate al patrimonio genetico, all'età degli animali, al loro stato fisiologico e alle variazioni nei contenuti e nella digeribilità degli amminoacidi essenziali nella dieta, nonché ai rapporti subottimali degli amminoacidi. L'azoto non digerito e assorbito dall'animale viene eliminato attraverso feci e urine, principalmente sotto forma di proteina, urea, acido urico e ione ammonio. La distribuzione di quest'azoto tra questi composti, insieme ai valori di pH nelle feci e nelle urine, influisce sul potenziale di emissione di ammoniaca dalle deiezioni. Pertanto, le strategie per ridurre le emissioni di ammoniaca dovrebbero includere la riduzione del contenuto proteico nella dieta, l'ottimizzazione dei livelli di amminoacidi essenziali e la

gestione del pH delle feci e delle urine. Tali approcci possono contribuire in modo significativo a ridurre l'impatto ambientale delle operazioni zootecniche.

La composizione delle feci e delle urine degli animali dipende in gran parte dalla loro alimentazione. Poiché le perdite di ammoniaca (NH_3) sono legate ai contenuti di ammonio, urea e acido urico nelle feci e nelle urine, le principali opzioni per influenzare il grado di emissioni di NH_3 attraverso l'alimentazione includono:

1. Riduzione dei contenuti di ammonio, urea e acido urico:
2. Riduzione dell'assunzione di proteina nella dieta.
3. Aumento dell'assunzione di polisaccaridi non amidacei, come la fibra alimentare, che sposta parte dell'azoto perso sotto forma di urea e acido urico nelle urine in azoto proteico nelle feci.

Riduzione del pH delle deiezioni (feci + urine) mediante:

1. Riduzione del pH delle urine.
2. Riduzione del pH delle feci.

3. Riduzione dell'attività dell'enzima ureasi, che riduce la concentrazione di ammonio nelle deiezioni.

Va notato, inoltre, come il contenuto di ammonio nelle deiezioni dipenda dall'idrolisi dell'urea (o dell'acido urico) e dalla digestione delle proteine nelle feci, sebbene quest'ultimo processo sia molto più lento. Per quanto riguarda le strategie per diminuire il pH di feci e urine nell'allevamento suino, è possibile adottare alcune specifiche misure correttive:

- Incrementare i processi fermentativi nell'intestino crasso per aumentare il contenuto di Acidi Grassi Volatili nelle feci, con conseguente diminuzione del pH.
- Ridurre il pH delle urine mediante un'adeguata gestione della dieta, ad esempio riducendo il rapporto tra cationi e anioni nella dieta stessa. Inoltre, l'aggiunta di componenti acidificanti come il solfato di calcio o l'acido benzoico può abbassare il pH delle urine.

La riduzione del pH delle feci e/o delle urine comporta naturalmente una riduzione del pH dei reflui, contribuendo così a ridurre le emissioni di ammoniaca durante la fase di stoccaggio e applicazione dei reflui. (C.M. Groenestein et al., 2019)

È importante notare che la velocità di conversione di urea e acido urico in ammonio può variare a seconda dell'attività dell'enzima ureasi e può avvenire in un intervallo che va da poche ore ad alcuni giorni. Al contrario, la mineralizzazione dell'azoto organico presente nelle feci è un processo estremamente lento. Occorrono, ad esempio, circa 70 giorni a una temperatura di 18°C affinché il 43% dell'azoto organico presente nei liquami suini venga mineralizzato in ammoniaca.

Per ridurre la quantità di azoto escreto dagli animali, è possibile adottare diverse strategie, come il "*phase feeding*" (fornire diete adattate alle diverse fasi della produzione), la riduzione dell'eccesso di proteina grezza, l'ottimizzazione dei livelli di amminoacidi essenziali nella dieta mediante l'integrazione di amminoacidi puri (in particolare lisina, metionina e treonina) e il miglioramento dell'efficienza di utilizzo dell'azoto attraverso un aumento del livello produttivo degli animali, riducendo così la proporzione di proteina utilizzata per il mantenimento. Nel caso di suini e avicoli, è importante assicurarsi che il contenuto proteico

della dieta non superi i livelli raccomandati ed è fondamentale utilizzare diete specifiche per diverse fasi della loro crescita e produzione. In questo modo, è possibile ridurre l'apporto e l'escrezione di azoto in eccesso, contribuendo a limitare le emissioni di ammoniaca. (F.Righi et al., 2016)

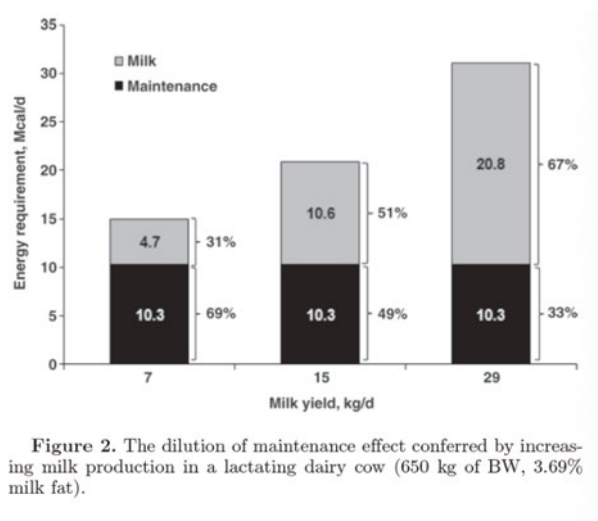


Figura 14. Rapporto tra latte prodotto e mantenimento nella vacca da latte

(J.L Capper et al. 2009)

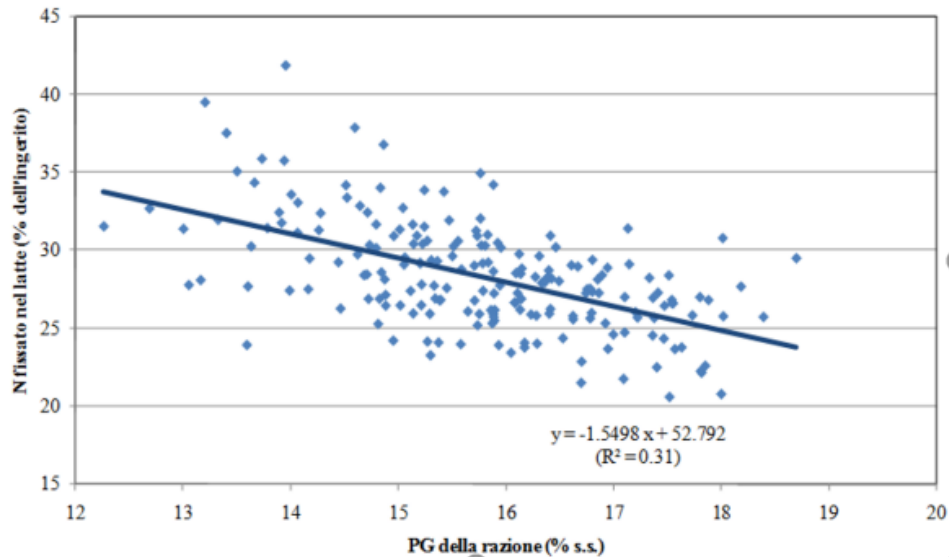


Figura 15. Azoto fissato nel latte e contenuto proteico della razione

(<https://www.feedinnova.it/>)

6.1 Riduzione NH₃ nei locali di stabulazione nei bovini da latte

Le stalle a stabulazione fissa emettono meno ammoniaca di quelle a stabulazione libera, in quanto le superfici imbrattate dalle deiezioni degli animali sono ridotte. Tuttavia, l'impiego di queste tipologie di allevamenti è attualmente scoraggiato per ragioni legate al benessere animale e all'elevata richiesta di manodopera. Il sistema di riferimento rispetto al quale

determinare il livello di abbattimento delle emissioni di NH_3 è quello di una stalla a stabulazione libera, con zona di riposo a cuccette. Considerazioni relative al benessere animale tendono a portare ad un aumento delle superfici di camminamento imbrattate dai reflui, un aumento della ventilazione e, in generale, ad un aumento delle emissioni. Pertanto, modificazioni delle strutture di stalla per soddisfare le esigenze di benessere animale tendono ad aumentare le emissioni di NH_3 , a meno che misure di abbattimento non vengano contestualmente introdotte. È difficile ridurre le emissioni di ammoniaca da stalle con ventilazione naturale. Modificare la dieta degli animali è un'importante e concreta opzione. In alcuni edifici è possibile utilizzare sistemi (raschiatori o sistemi *flushing*) per pulire le aree di passaggio degli animali (corridoi di smistamento, corsia di alimentazione). L'impiego di acqua comporterebbe un aumento del volume dei reflui. Aggiungere acidi o formalina all'acqua di lavaggio ridurrebbe le emissioni di ammoniaca, ma si tratta di pratiche rischiose, e, pertanto, non raccomandabili. Progettare aree di passaggio degli animali che permettano una riduzione della superficie esposta delle urine e un loro rapido sgrondo in vasche di raccolta dovrebbero essere considerate nella costruzione di nuovi edifici. Il mantenimento della pulizia delle zone di camminamento (anche eventuali *paddock*) degli animali può

contribuire ad abbattere le emissioni. Nel caso di lettiere permanenti, fare un abbondante uso di paglia può ridurre le emissioni ammoniacale nei locali e nella successiva fase di stoccaggio.

Per quanto concerne i reflui palabili e i reflui non palabili i sistemi di allevamento basati sull'utilizzo della paglia, e che producono reflui palabili, non emettono meno NH_3 rispetto a quelli basati sulla produzione di liquami. In più, le perdite di N legate alla produzione di N_2O e N_2 sono maggiori nei sistemi di allevamento a lettiera rispetto a quelli che producono liquami. Malgrado il letame possa emettere meno NH_3 quando applicato al campo rispetto al liquame, i liquami offrono una maggiore possibilità di ridurre le emissioni durante l'applicazione. La separazione fisica di feci e urine nei locali di stabulazione riduce l'idrolisi dell'urea e, di conseguenza, le emissioni di NH_3 nei locali di stabulazione, ma anche nella fase di spandimento dei liquami stessi. La verifica della riduzione delle emissioni di NH_3 nei sistemi con letame, con liquame o con separazione solido/liquido deve considerare tutte le fasi di gestione dei reflui.

L'aumento della superficie di contatto tra le deiezioni degli animali e l'aria aumenta la volatilizzazione dei gas. Nelle stalle a stabulazione libera, si osservano maggiori emissioni di ammoniacale (NH_3) nella zona di alimentazione, dove si accumula la maggior quantità di

deiezioni. D'altra parte, le emissioni di gas serra (GHG) come il metano (CH_4) sono più elevate nella zona di riposo, soprattutto se la lettiera è composta da paglia. Questo perché le condizioni anaerobiche negli strati profondi della lettiera favoriscono tali emissioni. L'uso di raschiatori su superficie piena può generare un'elevata liberazione di ammoniaca poiché la superficie irregolare del materiale ostacola la completa rimozione delle deiezioni, che a loro volta diffondono NH_3 nell'ambiente. L'installazione di pavimenti in gomma può favorire la pulizia e, contestualmente, consentire una riduzione delle emissioni di NH_3 .

Le diverse tipologie di stalla influenzano le emissioni di gas. Ad esempio, le stalle con zona di riposo a lettiera permanente con paglia, sebbene ottimali per il benessere animale, favoriscono la formazione di N_2O a causa delle condizioni anaerobiche negli strati profondi e della grande superficie pavimentata. Le stalle con lettiera inclinata presentano emissioni inferiori di NH_3 e CH_4 perché il calpestamento favorisce lo smaltimento rapido dei reflui e la superficie della lettiera è più piccola, richiedendo meno spazio per animale. Nelle stalle con cuccette, le aree con presenza di feci e urine (che contengono urea e microrganismi che producono ammoniaca) sono le corsie di alimentazione e le zone di esercizio. Queste aree devono essere dimensionate tenendo conto delle esigenze di funzionalità e benessere animale. L'uso di *paddock* esterni aumenta le emissioni in atmosfera in ragione della maggiore

superficie a contatto con l'aria e genera un aumento del volume dei reflui da gestire, specialmente in zone piovose. È preferibile una tipologia di stalla "accorpata" rispetto a una con "corpi separati". (Ambiente d'allevamento e benessere animale – II parte Alessandro Gastaldo 15 ottobre 2016)

Nel secondo caso, gli animali devono attraversare il *paddock* per raggiungere la zona di alimentazione durante tutto l'anno, aumentando la produzione di acque reflue da gestire insieme ai liquami. Per favorire lo sgrondo dei liquami verso una canaletta di raccolta o una vasca di stoccaggio, la pavimentazione deve possedere una pendenza minima dell'0,5%.

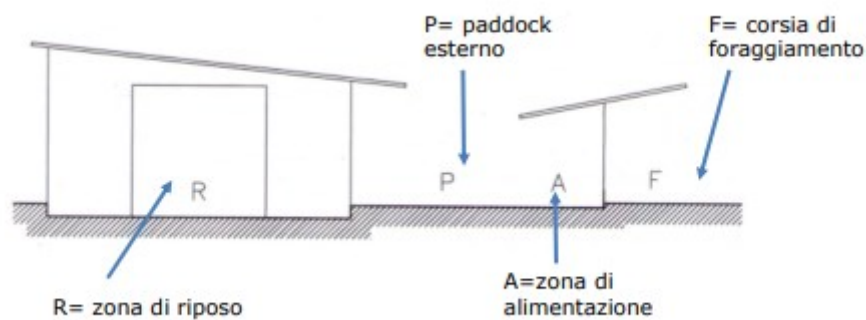


Figura 17. Zona di esercizio (www.docenti.unina.it)

Nelle stalle con zona di riposo a cuccette, dove vengono utilizzati per la lettiera materiali come paglia, segatura o materassini in gomma, è importante prestare particolare attenzione alle zone maggiormente colpite dalle deiezioni, ovvero la corsia di alimentazione e la zona di esercizio. Queste aree devono essere pulite almeno due volte al giorno. La separazione delle urine dalle feci è una pratica che riduce le emissioni sia all'interno della stalla che durante la successiva fase di spandimento dei reflui. Nei pavimenti fessurati, la dimensione delle fessure deve essere bilanciata per permettere un rapido drenaggio delle deiezioni dalla superficie di stabulazione senza tuttavia compromettere la salute degli arti degli animali. Questa esigenza ha portato allo sviluppo di un innovativo sistema di drenaggio noto come "*grooved floor*," che verrà descritto in seguito. Un elevato livello di umidità e il compattamento della lettiera permanente favoriscono lo sviluppo di protossido di azoto (N₂O). Pertanto, è necessario aggiungere regolarmente paglia lunga circa 20-30 cm per mantenere la lettiera asciutta. Aumentare ulteriormente le dimensioni della paglia potrebbe aumentare il grado di umidità della lettiera, il che non è desiderabile. Un'altra possibile strategia per gestire le deiezioni è il "*flushing*," secondo il quale l'urina presente sui pavimenti viene rimossa mediante un getto d'acqua o di liquami chiarificati.

Il sistema "*grooved floor*" rappresenta una soluzione innovativa. Si tratta di una superficie con fessure dotate di un fondo solido. Ciascun elemento presenta delle perforazioni ai margini da cui avviene il drenaggio delle urine. Le feci, invece, vengono raccolte da un raschiatore a pettine che scorre sulla pavimentazione e le deposita in una vasca posta nella parte inferiore della stalla. Questo sistema consente la separazione efficace delle urine, che contengono il substrato per l'ureasi, dalle feci, che contengono l'enzima ureasi. Tale separazione contribuisce in modo significativo a ridurre le emissioni di ammoniaca, con una diminuzione compresa tra il 25% e il 40% rispetto ai sistemi convenzionali. (D. Swierstra et al., 2001)

7. PLF – *Precision livestock farming*

La zootecnia di precisione, o *Precision Livestock Farming* (PLF) in inglese, rappresenta l'impiego di tecnologie avanzate per raccogliere dati riguardanti indicatori biofisiologici, comportamentali, produttivi e riproduttivi dei singoli animali in un allevamento. L'obiettivo principale è migliorare la gestione e le *performance* degli animali attraverso l'analisi e l'utilizzo ottimale delle informazioni raccolte. Questo campo interdisciplinare vede applicati principi di informatica, biostatistica, ingegneria ed economia ai dati zootecnici, con l'intento di massimizzare il potenziale individuale degli animali e diagnosticare precocemente eventuali problemi di natura sanitaria, riducendo la necessità di farmaci tramite misure preventive. (D. Lovarelli et al ., 2020)

Le prime applicazioni di PLF risalgono agli anni '70, quando furono introdotti i primi strumenti come i lattometri elettronici e i sensori per il monitoraggio comportamentale dell'estro nelle bovine da latte. Attualmente, le tecnologie PLF stanno rivoluzionando la gestione degli animali da allevamento, portando benefici sia per il loro benessere che per l'efficienza produttiva così cara all'allevatore. La raccolta di una vasta quantità di dati è soltanto il primo passo; è essenziale tradurre questi dati in informazioni utili per prendere

decisioni informate e ponderate. Le tecnologie di monitoraggio PLF non sostituiscono l'allevatore, ma ne migliorano la capacità di gestire il suo allevamento in modo più efficiente. Questo è particolarmente importante considerando l'attuale alta densità di animali negli allevamenti, il che rende difficile un controllo visivo dettagliato. L'adozione di PLF consente un monitoraggio costante degli animali, contribuendo a prevenire problemi sanitari, ridurre i costi veterinari e farmaceutici e migliorare la qualità delle produzioni, il tutto a beneficio dell'aspetto economico e soprattutto del benessere degli animali. (D.Lovarelli et al ., 2020)

L'aumento della domanda globale di prodotti animali e le crescenti preoccupazioni della società civile riguardo all'ambiente e al benessere degli animali richiedono, alle aziende agricole lattiero-casearie, di migliorare la loro efficienza e impongono loro di adottare sistemi agricoli più sostenibili. La Zootecnia di Precisione (PLF) potrebbe rappresentare un valido supporto per affrontare queste sfide. Negli ultimi anni, le aziende lattiero-casearie stanno modernizzando e introducendo nuovi sensori e sistemi automatici per gestire il loro bestiame. Tuttavia, la diffusione delle nuove tecnologie nelle aziende lattiero-casearie italiane è ancora limitata e gli allevatori sono restii a investire in sistemi di precisione.

Dal novembre 2020 al giugno 2021 è stato distribuito un questionario *online* ottenendo un totale di 52 risposte. Circa il 79% delle aziende si trovava in Lombardia. Il sistema di mungitura più diffuso era il mungitore convenzionale (73%), seguito dalla mungitura automatica (19%). L'età media dei partecipanti era piuttosto bassa: il 35% di loro aveva meno di 40 anni e più del 50% aveva un'età compresa tra i 40 e i 60 anni. Sono state effettuate analisi statistiche per valutare gli effetti di diversi fattori sulla presenza di tecnologia in azienda. L'età dell'allevatore, il livello di produzione del latte e la presenza di un sistema di mungitura automatica hanno influenzato il livello tecnologico dell'azienda. I sistemi di precisione che forniscono informazioni sull'attività degli animali per la gestione della riproduzione e sulla produzione e flusso del latte sono i più diffusi e sono considerati tra i più utili. La gestione della riproduzione e la produzione del latte sono le aree in cui gli allevatori sembrano mostrare interesse per futuri investimenti. Gli allevatori più giovani sembrano aver implementato più sistemi PLF rispetto ai più anziani e mostrano una propensione a investire in strumenti di precisione di ultima generazione. Gli allevatori sembrano avere un crescente interesse per la PLF tuttavia, sono stati individuati alcuni limiti: i costi degli investimenti, seguiti dalla mancanza di tempo per controllare le informazioni ricavate dai sistemi di sensori

e l'oggettiva difficoltà nell'interpretazione dei dati stessi. Poiché le tecnologie PLF possono svolgere un ruolo importante nello sviluppo della produzione zootecnica sostenibile, rispettosa degli animali ed efficiente, sono necessari ulteriori miglioramenti e sforzi per aumentare la propensione (comprensione e approccio costruttivo e critico) alla PLF degli allevatori lattiero-caseari. I risultati possono essere utili nel contesto italiano ma anche in altri paesi nei quali l'allevamento lattiero-caseario sta rapidamente intensificandosi ma la PLF sta incontrando una certa resistenza. (M.C. Bianchi et al., 2022)

La *Precision Livestock Farming* (PLF) ha come obiettivo principale il miglioramento dell'efficienza della produzione agricola, con particolare attenzione al benessere degli animali e all'aspetto umano, attraverso l'applicazione di tecnologie avanzate e delle Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione (TIC). Questo approccio si basa sulla raccolta, elaborazione ed utilizzo elettronico dei dati, con il potenziale per migliorare l'efficienza e ridurre i costi della produzione agricola, mentre contemporaneamente migliora il benessere sia degli animali che delle persone coinvolte. Tuttavia, è importante sottolineare che l'eccesso di informazioni non utilizzate in modo coerente può rappresentare un rischio, così come l'eccessiva intensificazione della produzione. I principi fondamentali della PLF comprendono l'identificazione dei processi cruciali per la produttività e la sostenibilità, la misurazione delle

variabili chiave associate a questi processi, l'applicazione di azioni correttive predeterminate quando le misurazioni escono dai limiti prestabiliti, l'implementazione di procedure operative standard per garantire il controllo dei processi essenziali e la formazione del personale per utilizzare efficacemente gli strumenti e seguire le procedure. Un elemento chiave per il successo della PLF è avere un *team* ben addestrato e motivato per implementare queste pratiche, poiché la trascuratezza delle procedure da parte degli operatori rappresenta una delle principali cause di insuccesso nella *Precision Livestock Farming*. (S.Morrone et al., 2022)

7.1 Aumentare il benessere animale

La prima definizione scientifica di benessere animale è stata esposta dal Rapporto Brambell del 1965, in cui si afferma che “*il Benessere ha un significato ampio che comprende sia lo stato fisico che mentale del bene-stare animale. Ogni tentativo di valutare il benessere deve quindi tenere in considerazione le prove scientifiche disponibili riguardanti le emozioni degli animali che derivano dalla loro biologia e fisiologia e anche dal loro comportamento*” (J.A.Mench et al., 2010)

Il benessere animale riveste un ruolo cruciale nell'ambito della *Precision Livestock Farming* (PLF) per diverse ragioni. In primo luogo, il benessere degli animali è strettamente correlato alla loro salute e alla loro produttività. Gli animali che godono di buona salute e condizioni di benessere tendono a crescere meglio, a produrre una migliore qualità di carne, latte o altri prodotti e a presentare una maggiore resistenza alle malattie (maggior efficacia immunologica). Inoltre, l'attenzione al benessere animale riflette la responsabilità etica e morale nei confronti degli animali stessi. La PLF offre l'opportunità di monitorare costantemente le condizioni degli animali, regolare l'ambiente in cui vivono e fornire cure preventive basate su dati concreti, il che contribuisce a garantire loro una vita migliore. Infine, il benessere animale è un fattore chiave per mantenere la fiducia dei consumatori, che sono sempre più attenti all'origine e alle condizioni di produzione degli alimenti (eticità e sostenibilità dell'intera filiera produttiva). Quindi, nell'ottica della PLF, il benessere animale non è soltanto un imperativo etico ma anche un vantaggio economico e reputazionale, contribuendo a promuovere una produzione agricola più sostenibile e consapevole.

Le situazioni negative, che possono essere a lungo termine o temporanee e che l'individuo non riesce a gestire adeguatamente, possono essere fonte di notevole stress. Queste circostanze possono essere imprevedibili e provocare cambiamenti sia fisiologici che

comportamentali, i quali hanno un impatto sia sul comportamento degli animali che sulle loro produzioni.

7.2 BCS – *Body condition score*

La valutazione del *Body Condition Score* (BCS) nell'allevamento di bovine da latte costituisce una pratica utilizzata per valutare il loro stato nutrizionale, lo stato di salute e la gestione della dinamica riproduttiva. Questo processo si basa sulla valutazione visiva e manuale, condotta da operatori esperti, delle condizioni di “ingrassamento” in quattro specifiche regioni del corpo dell'animale. Tuttavia, questa valutazione è soggettiva e può variare in base a fattori come l'esperienza dell'operatore e i valori di riferimento precedentemente osservati (standard utilizzati). Con l'avanzare della PLF è emersa la possibilità di utilizzare fotocamere per acquisire automaticamente il BCS, risparmiando tempo e fornendo una valutazione oggettiva e priva di influenze soggettive (in questo modo vengono evitati bias che possono interferire in fase valutativa). Questo approccio ha coinvolto fotocamere di diverse tipologie, tra cui, RGB (*Red Green Blue*) termiche e ad alta risoluzione. Attualmente, ci sono disponibili

fotocamere 3D a basso costo, completamente automatizzate, che utilizzano *software* specifici per analizzare le immagini e stimare il BCS. (R.I Albornoz et al., 2022)

Le previsioni del BCS ottenute in modo automatico forniscono informazioni dettagliate a livello individuale, di gruppo e di allevamento, contribuendo a migliorare la salute degli animali e la loro capacità riproduttiva. Inoltre, l'analisi dei cambiamenti nei profili del BCS nel corso della lattazione può essere utilizzata come parametro per valutazioni genetiche. Il futuro sviluppo in questo campo mira a estendere l'analisi delle immagini ad altre parti del corpo quali la conformazione degli arti e della mammella, al fine di rendere la valutazione sempre più oggettiva e standardizzata.

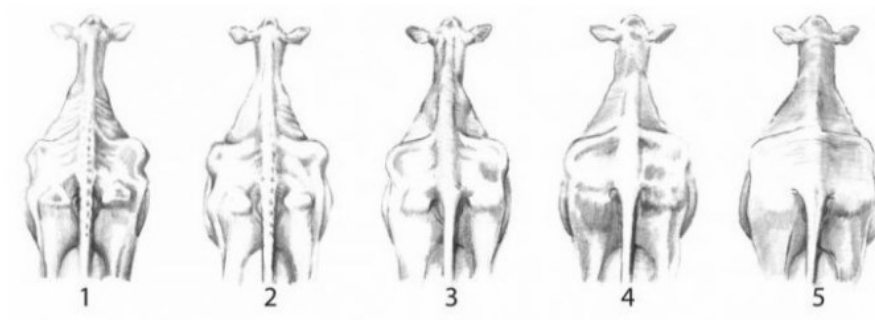


Figura 18. Punti da visionare per BCS (elearning.unite.it)

Per il ridurre l'impatto ambientale e di conseguenze l'utilizzo di farmaci occorre una visione a 360 gradi sulle nostre vacche in quanto utilizzando meno farmaci per problemi metabolici ed utilizzando quantità ridotte di mangime o fieno, grazie alla PLF, la nostra vacca avrà meno problemi di salute e, contestualmente, una maggior longevità e fertilità.

7.3 Zoppie bovine

Le aree del corpo affette da infiammazione spesso mostrano temperature superiori rispetto a condizioni di salute ottimale. In questo contesto, l'utilizzo di fotocamere termiche può essere sfruttato per individuare precocemente segni di infiammazione, prima che si manifestino clinicamente, senza la necessità di contatto fisico con l'animale. Questa capacità di prevenire problemi di salute rappresenta uno degli obiettivi principali delle tecnologie di *Precision Livestock Farming* (PLF).

Nel campo della prevenzione delle malattie, è essenziale che una tecnologia PLF sia in grado di rilevare precocemente processi patologici prima che siano evidenti per gli operatori umani (opportunità di inquadrare un problema sanitario allo stadio preclinico). Questa rilevazione

anticipata consente l'applicazione tempestiva di trattamenti, aumentando le probabilità di successo terapeutico e riducendo l'impiego eccessivo di farmaci, con benefici sia sul fronte ambientale che sul fronte economico.

Un altro aspetto cruciale nello sviluppo e nell'uso di tecnologie PLF è la loro affidabilità. Un sistema di PLF di alta qualità deve minimizzare al massimo sia i falsi negativi (ossia la mancata rilevazione di patologie reali) che i falsi positivi (la segnalazione erronea di una patologia non di fatto presente). Questo dipende dalla qualità e dalla quantità dei dati utilizzati per “addestrare” il modello di predizione, nonché dalla capacità del sistema di funzionare in modo efficace in contesti diversi da quelli in cui è stato inizialmente sviluppato, richiedendo talvolta adattamenti. (S. Morrone et al., 2022)

Nel contesto specifico delle zoppie, una delle malattie più dolorose per le vacche da latte, la loro identificazione precoce è essenziale per evitare il peggioramento della situazione (che potrebbe addirittura costringere all'abbattimento del capo colpito). Sebbene sia relativamente facile individuare le zoppie gravi, è molto più difficile farlo nel momento in cui si presentano in forma leggera o in fase iniziale, poiché i segni precoci spesso non sono evidenti.

Sono stati sviluppati sistemi di PLF costituiti da tappeti con sensori di pressione che valutano la distribuzione del peso delle vacche mentre camminano su di essi, come il sistema *StepMetrix* della Boumatic. (www.enneeffe.com)

Questi sistemi sono efficaci nel rilevare i primi segni di zoppia ma possono essere costosi. Recentemente, sono state sviluppate soluzioni non invasive basate sull'analisi di video registrati del profilo laterale degli animali in movimento per identificare precocemente problemi di zoppia. (S. Viazzi et al., 2013)

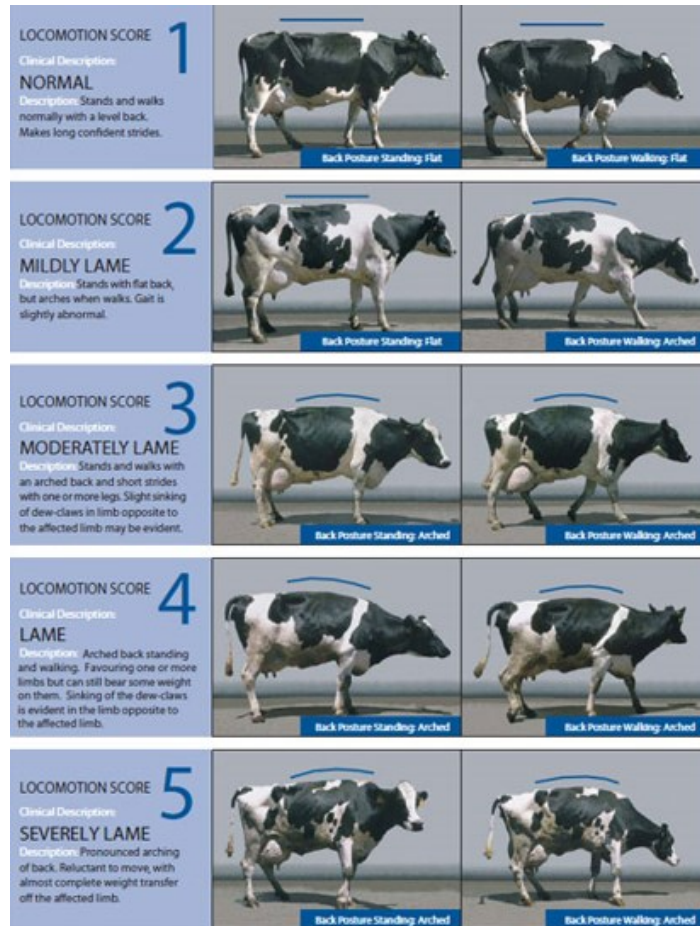


Figura 19. Valutazione Locomotion score (kraiburg-elastik.com)

8. Conclusioni

In un mondo in cui le questioni ambientali sono diventate sempre più urgenti, la zootecnia sostenibile è diventata una priorità critica assoluta. L'allevamento di animali finalizzato alla produzione alimentare è un'attività essenziale per soddisfare le esigenze alimentari crescenti della popolazione mondiale, ma presenta anche sfide significative in termini di impatto ambientale. Questa tesi ha esplorato come la *Precision Livestock Farming* (PLF) possa configurarsi come una soluzione innovativa nel mitigare l'impatto ambientale degli allevamenti zootecnici. Mentre l'umanità affronta la necessità di bilanciare il proprio progresso economico con la responsabilità nei confronti dell'ambiente.

Nel corso della tesi, è emerso chiaramente come l'utilizzo della PLF offra un potenziale significativo per ridurre l'impatto ambientale degli allevamenti zootecnici. La capacità di monitorare in tempo reale la salute e il comportamento degli animali, ottimizzare le pratiche di alimentazione e gestione, e ridurre gli sprechi di risorse naturali è fondamentale per una zootecnia sostenibile. Come afferma Aldo Leopold, filosofo ambientale e autore di "Un'Etica della Terra", *"Una cosa è giusta quando tende a preservare l'integrità, la stabilità e la bellezza della comunità biotica. È sbagliato quando tende al contrario."*

Le tecnologie avanzate di PLF consentono agli allevatori di adottare un approccio più responsabile nei confronti dell'ambiente, riducendo il consumo di acqua, cibo e antibiotici, nonché minimizzando l'emissione di gas ad effetto serra. Questo non solo conduce ad un miglioramento dell'efficienza produttiva, ma contribuisce anche a preservare l'equilibrio ecologico e a proteggere la biodiversità. La filosofia dell'ecologia profonda, promossa da Arne Naess, sottolinea l'importanza di vedere la natura come un intero sistema interconnesso riconoscendo il suo valore intrinseco, non solo il suo valore strumentale per l'essere umano. Tuttavia, nonostante i vantaggi evidenti della PLF, vi sono sfide significative da affrontare. L'adozione diffusa di queste tecnologie richiede investimenti iniziali, competenze tecniche ed una cooperazione intensiva tra le parti interessate. In questo contesto, dobbiamo affrontare non solo le sfide tecniche, ma anche le domande etiche sulla corretta gestione degli animali, sulla sicurezza dei dati e sull'equità nell'accesso a queste specifiche tecnologie. Le considerazioni etiche sull'ambiente sono fondamentali in questo contesto. Come sottolineato da Aldo Leopold, *"Una cosa è giusta quando tende a preservare l'integrità, la stabilità e la bellezza della comunità biotica. È sbagliato quando tende al contrario."* Dobbiamo quindi considerare attentamente come le nostre azioni influenzino il mondo naturale e cercare di massimizzare il benessere di tutte le forme di vita sulla Terra.

In conclusione, la *Precision Livestock Farming* offre un potenziale significativo per ridurre l'impatto ambientale degli allevamenti zootecnici, contribuendo a bilanciare la produzione alimentare con la sostenibilità ambientale. Tuttavia, questa non è una soluzione senza sfide né domande etiche. Come ci hanno insegnato i filosofi ambientali, dobbiamo essere consapevoli del nostro ruolo di "custodi della Terra" ed abbiamo il dovere morale di cercare soluzioni che preservino l'integrità, la stabilità e la bellezza del nostro mondo naturale. Alla luce delle sfide ambientali che affrontiamo oggi, dobbiamo continuare a cercare modi innovativi e responsabili per gestire il nostro rapporto con la natura. La citazione di Mahatma Gandhi "*Sii il cambiamento che vuoi vedere nel mondo*" ci ricorda che ognuno di noi ha un ruolo da svolgere nella creazione di un futuro più sostenibile. La PLF è un passo nella giusta direzione, ma richiede impegno, collaborazione e una visione a lungo termine, ma soprattutto, una nuova visione prospettica che deve essere filtrata dalla multidisciplinarietà. Con l'adeguata attenzione e considerazione per le sfide etiche, possiamo contribuire a preservare la bellezza e l'integrità del nostro pianeta mentre soddisfiamo le nostre esigenze alimentari.

Bibliografia:

“Allevamenti e ambiente, studio in un’azienda “Stefano Pignedoli, Laurea Valli- Crpa spa,
Reggio Emilia marzo 2013

“Ambiente d’allevamento e benessere animale” – II parte Alessandro Gastaldo 15 ottobre
2016, RUMINANTIA

*“An Improved Approach to Automated Measurement of Body Condition Score in Dairy
Cows Using a Three-Dimensional Camera System”* Rodrigo I. Albornoz, Khageswor Giri,
Murray C. Hannah and William J. Wales, 2021 pag. 1-13

"Animal Machines" Ruth Harrison 1964 Reissued by CABI pubblicato il 5 marzo 2013
pag.220 Editore: Cab Intl,

*"A review on dairy cattle farming: Is precision livestock farming the compromise for an
environmental, economic and social sustainable production?"* - Daniela Lovarelli, Jacopo
Bacenetti, Marcella Guarino 20 July 2020, 121409

"A short history of livestock production" - J. Hartung, Institute for Animal Hygiene, Welfare and Farm Animal Behaviour, University of Veterinary Medicine Hannover, Foundation, Bünteweg 17P, 30559 Hannover, Germany

"Analysis of individual classification of lameness using automatic measurement of back posture in dairy cattle" - S. Viazzi, C. Bahr , A. Schlageter-Tello, T. Van Hertem, C.E.B. Romanini, A. Pluk , I. Halachmi , C. Lokhorst , D. Berckmans January 2013, Pages 257-266

"Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation" M. Melissa Rojas-Downing, A. Pouyan Nejadhashemi, Timothy Harrigan, Sean A. Woznicki 2017 Pages 145-163

"Combining livestock and tree crops to improve sustainability in agriculture: a case study using the Life Cycle Assessment (LCA) approach" Luisa Paolotti, Antonio Boggia, Cesare Castellini, Lucia Rocchi, Adolfo Rosati 10/9/2016 Pages 351-363

“Come ridurre l’impronta zootecnica” degli allevamenti Cassandro Martino; Schiavon Stefano; Sturaro Enrico; L'INFORMATORE AGRARIO da pag. 65 a 71 2013

“*Comparison of ammonia emissions related to nitrogen use efficiency of livestock production in Europe*” C.M. Groenestein, N.J. Hutchings, H.D. Haenel, B. Amon, H. Menzi, M.H. Mikkelsen, T.H. Misselbrook, C. van Bruggen T. Kupper , J. Webb, 20 February 2019, Pag. 1162-1170

"*Diffusion of precision livestock farming technologies in dairy cattle Farms*" - M.C. Bianchi, L. Bava, A. Sandrucci, F.M. Tangorra, A. Tamburini, G. Gislou, M. Zucali November 2022, 100650

"*Economic implications of climate change impacts on human health through undernourishment*” Tomoko Hasegawa, Shinichiro Fujimori, Kiyoshi Takahashi Tokuta Yokohata, Toshihiko Masui, 2016 Climatic Change (2016) 136:189–202

"Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems" A. Nardone, B. Ronchi, N. Lacetera, M.S. Ranieri, U. Bernabucci May 2010, Pages 57-69

"Exploring global changes in agricultural ammonia emissions and their contribution to nitrogen deposition since 1980" Lei Liu, Wen Xu, Xiankai Lu, Buqing Zhong, Yixin Gu, Xiao Lue, Yuanhong Zhao, Wei He, Songhan Wang, Xiuying Zhang, Xuejun Liu, and Peter Vitousek, 2022 pag. 1-9

"Feeding a free choice energetic mineral-vitamin supplement to dry and transition cows: effects on health and early lactation performance" F. Righi, M. Simoni, M. Malacarne, A. Summer, E. Costantini, 2016 pag. 161-170

"Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector" Mario Herrero, Benjamin Henderson, Petr Havlík, Philip K. Thornton, Richard T. Conant, Pete Smith, Stefan Wirsenius, Alexander N. Hristov, Pierre Gerber, Margaret Gill, Klaus Butterbach-Bahl, Hugo Valin, Tara Garnett & Elke Stehfest, Nature Climate Change volume 6, pag. 452–461 (2016)

“Grooved Floor System for Cattle Housing: Ammonia Emission Reduction and Good Slip Resistance” D. Swierstra, C. R. Braam, M. C. Smits, 2001, pag. 85-90

"Industry 4.0 and Precision Livestock Farming (PLF): An up to Date Overview across Animal Productions" Sarah Morrone, Corrado Dimauro, Filippo Gambella and Maria Grazia Cappai, 2022

“Livestock and food security: vulnerability to population growth and climate change”
Olivia F. Godber and Richard Wall, *Global Change Biology* (2014) 20, pag. 3092–3102

“Predicting the environmental impacts of chicken systems in the United Kingdom through a life cycle assessment: egg production systems” I. Leinonen, A G Williams, J Wiseman, J Guy, I. Kyriazakis, January 2012

“Quanto impatta davvero l’allevamento bovino” Di Orlando Fortunato 19 ottobre 2022
rivista: *l’INFORMATORE ZOOTECNICO*

"*Seagrasses and eutrophication*" JoAnn M. Burkholder a, David A. Tomasko, Brant W. Touchette 9 November 2007, Pages 46-72

"*Temperature-humidity index values and their significance on the daily production of dairy cattle*" Vesna Gantne, Pero Mijić, Krešimir Kuterovac, Drago Solić, Ranko Gantner, 2011, pag. 56-63

"*The environmental impact of dairy production: 1944 compared with 2007*" J. L. Capper, R. A. Cady and D. E. Bauman 2009, Department of Animal Science, Cornell University, Ithaca, NY 14853; and Elanco Animal Health, Greenfield, IN 46140

"*Thirty Years After Brambell: Whither Animal Welfare Science?*" Joy A. Mench Jun 2010 Pages 91-102

"*The fauna from the terminal Pleistocene of Palegawra cave, a Zarzian occupation site in northeastern Iraq. Fieldiana Anthropology*" Turnbull, P.F. Reed, C.A., 1974. 63(3): 81-146.

“Arne Naess”, Franco Nasi, Luca Valera, 2023 pag.373 editore: Quodlibet

"La nuova stalla da latte: per una zootecnia innovativa e sostenibile", Roberto Bartolini,
2013 pag. 50-75 e 90-140 editore: Edagricole

“La ricchezza delle nazioni”, Adam Smith, 2008, traduttore: Franco Bartoli, Cristiano
Camporesi, Sergio Caruso pag. 834 editore: Newton Compton Editori

"L'etica della terra”, Aldo Leopold, 1991, pag.152 editore: casa editrice Piano B

"Manuale per la gestione e l'utilizzazione agronomica dei reflui zootecnici" - CRPA, 1999
pag. 30-85

"Nuovo ecologia e geo pedologia: nuova edizione" - Carlo Cavalli, 2014 da pag. 18 a 37
editore: HOEPLI

Sitografia:

- <https://agricoltura.regione.emilia-romagna.it/progetti-innovazione/raccolta-progetti-innovazione/qualita-aria/bando-2017/tecniche-ridurre-emissioni-ammoniac-gas-serra-sistemi-terra-ovaiole-gasfreehe>
- <https://agronotizie.imaginenetwork.com/zootecnia/2019/05/07/un-microclima-a-misura-di-lattifera/62765>
- https://boumatic.com/us_en/
- <https://www.docenti.unina.it/webdocenti-be/allegati/materiale-didattico/34008108>
- <https://edepot.wur.nl/198524>
- <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016L2284>
- <https://ipccitalia.cmcc.it/cose-lipcc/>
- <https://www.efsa.europa.eu/it/topics/topic/animal-welfare>

- www.globalhungerindex.org
- <https://www.ipcc.ch/>
- <https://www.lastoriadiunerbivoro.it>
- www.nature.com - Steps to sustainable livestock
- <https://www.sciencedirect.com>
- <https://sites.unimi.it/>
- <https://sites.unimi.it/clevermilk/2021/01/18>
- <https://www.dolomitiparco.com/>
- www.nature.com - Steps to sustainable livestock
- <https://www.fao.org>
- <https://www.crpa.it>
- <https://ruminantiamese.ruminantia.it/>
- <https://ruminantia.it>
- <https://etd.adm.unipi.it/t>
- Zootecnia di precisione, smart farming, precision livestock: vantaggi e sfide

