



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

CORSO DI LAUREA IN SCIENZE E TECNOLOGIE ANIMALI

Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e
Ambiente

TESI DI LAUREA TRIENNALE

Eccessi e carenze di Selenio: effetti sulla Produzione e
Riproduzione delle vacche da latte

Relatore: Prof. Giulio Cozzi

Laureanda: Sara Lazzarin

Matricola N. 2007121

A.A. 2022/2023

INDICE

RIASSUNTO	3
ABSTRACT	4
INTRODUZIONE	5
CAPITOLO I	7
L'importanza del Selenio nella dieta delle vacche da latte	7
1.1. La dieta delle vacche da latte	7
<i>1.1.1. Fabbisogni nutritivi</i>	7
<i>1.1.2. Ingestione</i>	9
1.2. Gli elementi minerali per una dieta equilibrata	11
<i>1.2.1. I Macroelementi</i>	12
<i>1.2.2. I Microelementi</i>	15
1.3. Il Selenio	17
<i>1.3.1. Definizione</i>	17
<i>1.3.2. Funzioni del Selenio</i>	18
<i>1.3.3. Fabbisogni di Selenio nella vacca da latte</i>	19
<i>1.3.4. Fonti di Selenio</i>	21
CAPITOLO II	25
Eccessi e carenze di Selenio sulla Produzione	25
2.1. La produzione del latte nelle vacche	25
<i>2.1.1. La lattazione</i>	25
<i>2.1.2. L'apparato mammario</i>	26
2.2. Il Selenio nella produzione del latte	28
<i>2.2.1. Effetti della carenza di Selenio sulla produzione</i>	29
<i>2.2.2. Effetti dell'eccesso di Selenio sulla produzione</i>	32
2.3. Sperimentazione sull'aumento del Selenio nel sangue, colostro e latte	34
CAPITOLO III	37
Eccessi e carenze di Selenio sulla Riproduzione	37
3.1. La riproduzione delle vacche da latte	37
<i>3.1.1. Pubertà</i>	37
<i>3.1.2. Ciclo Estrale</i>	38
<i>3.1.3. Inseminazione e concepimento</i>	40
3.2. Il ruolo del Selenio nella riproduzione delle vacche	43

3.2.1. <i>Effetti della carenza di Selenio sulla riproduzione</i>	43
3.2.2. <i>Effetti dell'eccesso di Selenio nella riproduzione</i>	46
3.3. Impatto dell'integrazione di Vitamina E e Selenio sulle prestazioni riproduttive: uno studio coreano	47
CONCLUSIONI	51
BIBLIOGRAFIA	53

RIASSUNTO

L'allevamento delle vacche da latte costituisce uno dei settori agricoli di vitale importanza in Italia, in quanto caratterizza il nostro territorio sotto differenti aspetti: a partire dall'essere parte integrante del nostro patrimonio socio-culturale, fino a rappresentare una insostituibile fonte economica per le realtà rurali presenti nel nostro territorio, attraverso la produzione di tutta una serie di eccellenze caseari. Negli anni, la selezione genetica e una gestione sempre più attenta delle stalle da latte hanno favorito un incremento della produzione, ponendo una particolare enfasi al soddisfacimento delle loro esigenze nutrizionali e comportamentali. Sono state modificate le tecniche e le strutture di allevamento in modo che rispettassero maggiormente i normali comportamenti etologici di specie. In parallelo, sono state maggiormente bilanciate anche le diete delle bovine in base alle varie fasi di produzione in cui esse si trovavano.

Nella dieta delle bovine da latte sono di fondamentale importanza gli apporti di micronutrienti essenziali, in quanto hanno un ruolo cruciale nel mantenimento della salute e del benessere complessivo dell'animale agendo a livello di metabolismo, del sistema immunitario, di prevenzione delle malattie, di performance e produzione del latte, di riproduzione e fertilità.

Tra i diversi micronutrienti essenziali, il Selenio (Se) è uno di quelli per i quali un apporto scorretto può comportare ingenti danni non solo sul singolo individuo, ma su tutta la mandria.

Nel presente elaborato sono state esaminate le patologie e le complicanze derivanti dagli squilibri di Selenio – dovuti sia al suo eccesso che alla sua carenza – nel contesto della riproduzione e della produzione di latte. Queste problematiche si concentrano principalmente sul sistema immunitario, sull'apparato mammario, sulla sfera riproduttiva e sull'apparato digerente, con particolare attenzione al fegato.

A supporto dell'elaborato, sono stati presi in discussione i risultati di tre casi studio condotti rispettivamente negli Stati Uniti, in Italia e nella Repubblica della Corea. Nelle differenti sperimentazioni sono stati somministrati quantitativi e fonti diverse di Selenio e sono state analizzati i risultati prodotti dall'integrazione di questo microelemento nell'organismo delle bovine e nelle loro capacità produttive e riproduttive.

In conclusione, il presente lavoro di tesi ha messo in luce il ruolo che il Selenio, microelemento spesso trascurato, può rivestire nell'alimentazione delle vacche da latte, sottolineando la necessità di monitorare con meticolosa precisione il suo apporto nella dieta.

ABSTRACT

The dairy cattle breeding constitutes one of the most vital agricultural sectors in Italy, as it characterizes our territory in different ways: from being an integral part of our socio-cultural heritage, to representing an irreplaceable economic source for the rural areas, through the production of a wide list of excellent dairy products. Over the years, the genetic selection and the careful management of dairy farms have promoted an increasing trend in milk yield. In this scenario, particular emphasis has been addressed on satisfying the nutritional and behavioural needs of the dairy cows. Breeding techniques and housing structures have been changed to better respect the normal ethological behaviour of the species. At the same time, the cattle's diets were also better balanced according to the different production phases of the cows.

In the diet of dairy cows, the intake of essential micronutrients is of fundamental importance, as they play a crucial role in maintaining the overall health and well-being of the animal by acting on metabolism, the immune system, disease prevention, performance and milk production, reproduction and fertility.

Among the various essential micronutrients, Selenium (Se) is one of those for which an inadequate intake can lead to considerable damage not only on the individual, but on the entire herd. In this paper, pathologies and complications resulting from Selenium imbalances - due to both its excess and deficiency - in the context of reproduction and milk yield were examined. These issues mainly focus on the immune system, the mammary system, the reproductive sphere and the digestive system, with particular attention to the liver.

To support the paper, results of three case studies conducted in the United States, Italy and the Republic of Korea, respectively, were discussed. In the different experiments, different quantities and sources of Selenium were administered and the results induced by the supplementation of this trace element in the body of cows and their productive and reproductive responses were analyzed.

In conclusion, this thesis has highlighted the role that Selenium, an often neglected trace element, can play in the nutrition of dairy cows, emphasizing the need to carefully monitor its dietary intake.

INTRODUZIONE

I sistemi di allevamento del terzo millennio devono dimostrarsi sostenibili in quanto devono essere economicamente sostenibili per gli agricoltori, rispettosi dell'ambiente e socialmente accettabili. (ten Napel e coll., 2011). Il benessere degli animali è uno dei pilastri della dimensione sociale della sostenibilità poiché la tutela del benessere degli animali d'allevamento è entrata inequivocabilmente nelle politiche pubbliche tradizionali in diversi paesi (Buller e coll., 2018). Lo stato di benessere di un animale è ben rappresentato dal valore adattivo dell'interazione dell'individuo con un dato contesto ambientale, ma le questioni relative al benessere degli animali non possono essere affrontate esclusivamente mediante misurazioni biologiche oggettive dello stato di benessere di un animale in determinate circostanze (Ohl e van der Staay, 2012). Gli atteggiamenti, le convinzioni, le aspettative e le preferenze dei cittadini/consumatori, dei veterinari, degli agricoltori e di altri soggetti interessati del settore dell'allevamento nei confronti del benessere degli animali hanno importanti implicazioni per il trattamento degli animali da un lato e per il mercato degli alimenti prodotto dagli animali da allevamento dall'altro, poiché influenzano le decisioni di acquisto (Nalon e coll., 2021).

In questo contesto, la corretta alimentazione è un elemento fondamentale e imprescindibile nell'allevamento degli animali da reddito, in quanto ci permette di ottenere ottimali condizioni di benessere animale, eccellenti livelli di produzione e buone capacità riproduttive. Una dieta equilibrata e nutriente fornisce i nutrienti essenziali per sostenere al meglio la crescita e le produzioni mantenendo gli animali in salute. Carenze o eccessi nella dieta possono causare problemi a livello produttivo e riproduttivo, spingendo spesso l'animale a soffrire di problemi di salute, tra cui disturbi metabolici, malattie legate alla fertilità e alla riproduzione, e problemi legati alla produzione. Una dieta equilibrata supporta il sistema immunitario, riduce il rischio di malattie e mantiene un peso corporeo ideale che va a influire positivamente sulla produzione e riproduzione.

CAPITOLO I

L'importanza del Selenio nella dieta delle vacche da latte

1.1. La dieta delle vacche da latte

Una buona gestione degli alimenti e delle diete somministrate alle vacche garantisce vantaggi per quanto riguarda la sostenibilità dell'allevamento, sia dal punto di vista economico favorendo una elevata produzione, che da quello ambientale in quanto può ridurre l'impatto dell'allevamento sul territorio. La corretta alimentazione è correlata anche ad un elevato livello di benessere animale e quindi promuove la sostenibilità anche dal punto di vista etico.

L'alimentazione, in media, rappresenta il 40-50% del costo totale di produzione del latte, e il conseguimento di elevate prestazioni dipende dalla creazione di piani alimentari che non solo soddisfino i requisiti nutrizionali, ma consentano anche un funzionamento ottimale dell'organismo dell'animale. Nella maggioranza dei casi, la riduzione dell'efficienza produttiva non è dovuta a carenze di elementi nutritivi somministrati, ma principalmente a squilibri alimentari che possono provocare inizialmente una difficoltà da parte dell'animale nell'effettuare una piena attività ruminale e successivamente sfociare in problematiche più complesse, come l'indebolimento del sistema metabolico-immunitario delle vacche.

1.1.1. Fabbisogni nutritivi

Durante la sua vita produttiva la vacca da latte necessita di disporre di energia, proteine, grassi, elementi minerali e vitamine per soddisfare i fabbisogni di mantenimento (per funzioni vitali), fabbisogni di accrescimento, fabbisogni di gestazione e fabbisogni di lattazione.

I fabbisogni di mantenimento rappresentano le necessità dell'organismo di svolgere le funzioni fisiologiche cruciali «*quali la respirazione, la circolazione, le secrezioni endocrine ed esocrine e il tono muscolare*» (Bittante, e coll., 2005).

Queste funzioni costituiscono il metabolismo di base dell'animale e includono la compensazione di ciò che viene consumato durante l'attività muscolare per i movimenti spontanei e per il mantenimento della temperatura corporea. Sono facilmente identificabili nei soggetti adulti, poiché hanno completato il loro processo di crescita, ma possono essere più complesse da individuare nel caso delle manze, poiché i loro fabbisogni possono essere facilmente confusi con quelli legati alla crescita (fabbisogni di accrescimento). I fabbisogni di mantenimento includono i fabbisogni di energia netta, di proteine, di elementi minerali e infine, di microelementi e vitamine.

Il fabbisogno energetico di mantenimento è altamente variabile perché varia in funzione di numerosi fattori specifici di ciascun soggetto, ma principalmente correlato al peso metabolico dell'animale, calcolato attraverso la radice quadrata del peso vivo elevata alla potenza di 0,75 ($\sqrt{PV^{0,75}}$). Nella realtà operativa, spesso è necessario aumentare questo valore di mantenimento di base, aggiungendo un incremento dal 20% al 50%.

Analogicamente, i fabbisogni proteici per il mantenimento sono influenzati da diversi fattori, in particolar modo dall'efficienza dell'attività ruminale e dalla capacità di assorbimento delle sostanze. In Italia, a livello operativo, il fabbisogno proteico di una vacca da latte può essere calcolato utilizzando la formula seguente: $proteina\ grezza\ (g/d) = 3,7 \times PV^{0,75}$

Gli elementi minerali svolgono un ruolo fondamentale nel mantenimento delle funzioni vitali della vacca e i loro fabbisogni variano per ciascun elemento. Ad esempio, le quantità giornaliere di calcio e fosforo possono essere calcolate utilizzando le percentuali di assorbimento specifiche per ciascun elemento (0,38 e 0,50 rispettivamente), come segue:

$$g = (0,0154 \times kg\ di\ PV)/0,38\ oppure\ g = (0,0143 \times kg\ di\ PV)/0,50.$$

Infine, anche i fabbisogni relativi ai microelementi e alle vitamine variano a seconda della specifica sostanza considerata.

I fabbisogni di accrescimento sono significativi durante la fase di crescita nei giovani animali e nelle fasi di recupero del peso nelle vacche, come alla fine della lattazione. Questi fabbisogni sono legati all'energia, alle proteine, agli elementi minerali e alle vitamine, e sono correlati alle modifiche corporee che avvengono durante la crescita. Nei giovani animali, è spesso difficile distinguerli dai fabbisogni di mantenimento, a meno che non si utilizzino sistemi di valutazione basati su macellazioni comparative tra animali. Nelle vacche adulte in lattazione, invece, i fabbisogni di accrescimento variano in funzione del peso vivo (PV) e del tasso di crescita. In questa fase, l'aumento del peso vivo deriva dalla ricostituzione dei tessuti muscolari e adiposi utilizzati e esauriti nella prima fase produttiva. Questi fabbisogni corrispondono a circa 3,0 UFL e a 320 g di proteine x ogni kg di incremento di PV.

Le riserve di energia e proteine depositate possono essere successivamente utilizzate dall'animale per le sintesi mammarie, ovvero, quando i fabbisogni non possono essere soddisfatti tramite l'assorbimento di nutrienti dal tubo digerente.

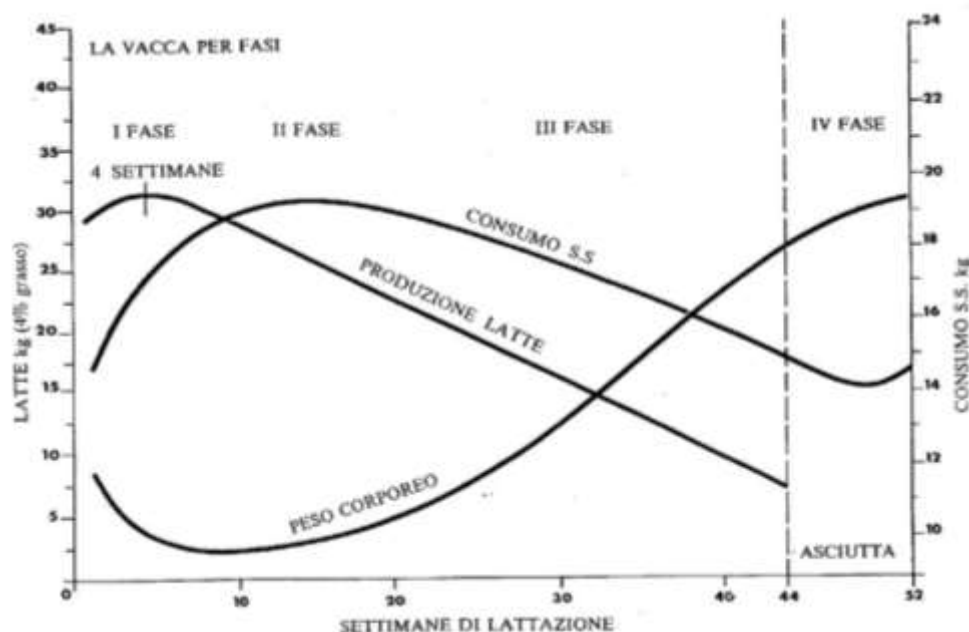
I fabbisogni di gestazione si riferiscono alle richieste dell'animale di accumulare energia, proteine, minerali e vitamine durante la gravidanza, al fine di supportare il feto, i fluidi corporei, e lo sviluppo dei tessuti della mammella e dell'utero. Durante i primi 6 mesi di gestazione, queste esigenze sono trascurabili, ma diventano sempre più significative nella fase finale della gravidanza a causa dell'aumento progressivo del peso del feto. I requisiti per la gestazione sono principalmente influenzati dalla dimensione del vitello e dal numero di feti presenti nella gravidanza.

I fabbisogni di lattazione, invece, variano in base alla composizione del latte e coinvolgono le esigenze della vacca per sintetizzare 1 kg di latte. Gli apporti energetici netti durante la fase di lattazione sono principalmente influenzati dalle variazioni del contenuto di grassi nel latte, con una particolare attenzione alla percentuale di lipidi. Ad esempio, in 1 kg di latte con una percentuale di grasso del 3,5%, il valore energetico è di 2,9 MJ e il fabbisogno per la lattazione corrisponde a 0,41 Ufl. L'andamento dei livelli di grasso influisce anche sui requisiti di proteine e minerali, poiché un aumento del contenuto energetico del latte comporta un aumento delle necessità della bovina in termini di proteine e minerali come calcio e fosforo (Bittante e coll., 2005).

1.1.2. Ingestione

L'ingestione è uno dei parametri determinanti per soddisfare i fabbisogni nutritivi e per formulare diete con un ottimale rapporto tra foraggi e concentrati. La formulazione delle diete per le vacche da latte con alimenti di alta qualità garantisce che gli animali ricevano la giusta quantità di proteine, carboidrati, vitamine, minerali ed energia necessari per mantenere un buono stato corporeo, una buona salute e sostenere la loro produzione. In alcuni casi, non è possibile soddisfare completamente i requisiti nutrizionali delle vacche solo attraverso l'alimentazione, soprattutto nelle vacche ad alta capacità riproduttiva durante la prima fase di lattazione. La carriera produttiva di una bovina da latte è determinata dai vari stadi fisiologici che l'animale attraversa, tra cui il periodo di crescita, la fecondazione e gravidanza, la fase di lattazione e il periodo di asciutta. Ogni fase richiede esigenze alimentari specifiche e distinte e, anche durante la lattazione, i requisiti nutrizionali possono variare notevolmente in termini di quantità e composizione.

Nel corso della lattazione la produzione latte, la capacità di ingestione e il peso corporeo variano, come rappresentato nel seguente grafico:



(<https://slideplayer.it/slide/13910091/>)

«All'aumentare della mole si eleva il consumo di alimenti, anche se in modo meno che proporzionale, mentre a maggiori produzioni di latte corrispondono superiori ingestioni alimentari» (Bittante e coll., 2005).

L'ingestione ci fornisce numerose informazioni sullo stato fisiologico e sullo stato di salute in cui si trova la vacca. Somministrando la stessa dieta a soggetti più e meno produttivi, le vacche con elevata produttività riescono a soddisfare le proprie esigenze aumentando l'assunzione di cibo rispetto a quelle meno produttive, che richiedono una quantità inferiore di alimenti per coprire i loro fabbisogni.

Durante la fase finale di gestazione e nei primi giorni dopo l'entrata in calore, si verifica una significativa diminuzione nell'assunzione di cibo da parte delle vacche. Inoltre, l'ingestione è influenzata da diversi fattori, tra cui il microclima ambientale. In particolare, temperature elevate e alta umidità possono ridurre l'appetito delle vacche da latte, con conseguenze negative sulla produzione e sull'intero allevamento.

Per mitigare questo problema, è spesso necessario installare sistemi di ventilazione o docce nelle stalle per permettere agli animali di rinfrescarsi durante le giornate più calde. Le caratteristiche chimico-fisico-nutrizionali degli alimenti somministrati costituiscono un secondo fattore che può influenzare l'ingestione. Ad esempio, diete ricche di fibre o con un elevato rapporto tra foraggi e concentrati possono limitare l'assunzione di cibo, mentre un

aumento dei concentrati può ridurre l'assunzione complessiva di foraggio, causando uno sbilanciamento nel rapporto tra foraggi e concentrati. Questo porta a diete con quantità significative di mangime ma povere di fibre, riducendo l'assunzione complessiva di sostanza secca a causa dei meccanismi di controllo dell'ingestione energetica da parte dell'animale.

A parità di fibra, l'ingestione è influenzata dalla velocità di fermentazione e la velocità di transito ruminale delle frazioni fibrose in base alla velocità con cui il ruminante espelle l'alimento. Le modalità di conservazione dei foraggi e la frequenza dei pasti possono condizionare l'assunzione di sostanza secca da parte dell'animale: a parità di caratteristiche chimiche, i fieni sono preferiti dalle vacche rispetto agli insilati e preferiscono l'insilamento di foraggi appassiti, piuttosto che di quelli freschi e verdi, inoltre, favoriscono i mangimi che presentano acidificanti portano a ingestioni più elevate. La frequenza dei pasti influenza l'ingestione delle bovine da latte in quanto anche solo «*il passaggio da 2 a 4 pasti giornalieri può comportare un aumento dell'ingestione del 8-10% con un conseguente miglioramento dell'efficienza produttiva*» (Bittante e coll., 2005).

Oggigiorno, nelle aziende ad alta produttività, al fine di assicurare un consumo di alimento il più possibile continuo nel corso della giornata, si fa ricorso alla tecnica dell'*unifeed* o "*piatto unico*" che permette la contemporanea ingestione di alimenti fibrosi e di concentrati, aumentando l'ingestione di sostanza secca e garantendo le regolari attività microbiche ruminali (Shingoethe, 2017).

1.2. Gli elementi minerali per una dieta equilibrata

In relazione a quanto è stato precedentemente affrontato, una dieta equilibrata è di fondamentale importanza per le vacche da latte al fine di garantire il loro benessere, la produzione di latte ottimale, la loro gestione a livello riproduttivo e una gestione sostenibile dell'allevamento. Questo equilibrio nutrizionale può essere raggiunto mediante una serie di fattori, tra cui il corretto apporto di proteine, carboidrati e lipidi. Tuttavia, uno degli aspetti spesso trascurati ma altrettanto critici di questa dieta equilibrata riguarda gli elementi minerali che – sebbene rappresentino una frazione ridotta del peso corporeo totale della vacca da latte (circa il 4%) – svolgono comunque un ruolo essenziale in un'ampia gamma di processi fisiologici.

Nel contesto dei minerali, si effettua una separazione tra elementi inorganici che possono essere categorizzati in due gruppi principali: i macrominerali, con fabbisogni elevati e misurabili in grammi, e i microminerali, con fabbisogni nell'ordine di milligrammi o addirittura inferiori.

1.2.1. I Macroelementi

I Macroelementi essenziali, quali calcio, fosforo, sodio, cloro, potassio, magnesio e zolfo, sono costituenti fondamentali nelle diete degli animali e nei loro tessuti corporei. Questi elementi sono presenti in quantità relativamente significative e si rendono necessari in quantità maggiori, generalmente misurate in grammi per chilogrammo di peso corporeo. Questa necessità deriva dalla loro cruciale importanza in numerose funzioni vitali. I Macroelementi svolgono un ruolo essenziale nella struttura delle ossa e di altri tessuti, contribuiscono al mantenimento dell'equilibrio idrico acido-base dell'organismo, influenzano la pressione osmotica, facilitano le trasmissioni nervose e contribuiscono al potenziale elettrico delle membrane cellulari. La loro presenza e apporto adeguato sono fondamentali per il benessere e il corretto funzionamento del corpo.

- Calcio

Il Calcio (Ca) presente nell'ambiente extracellulare svolge un ruolo cruciale in molteplici aspetti, tra cui la formazione dei tessuti scheletrici, la trasmissione degli impulsi all'interno del tessuto nervoso, l'eccitazione e la contrazione dei muscoli scheletrici e cardiaci, la coagulazione del sangue, nonché la sua funzione come componente essenziale del latte. D'altra parte, il Calcio intracellulare riveste un ruolo significativo nell'attività di una vasta gamma di enzimi e funge da secondo messaggero fondamentale, consentendo il trasporto di informazioni dalla superficie della cellula verso l'interno. Circa il 98% del Calcio presente nel corpo si trova all'interno del tessuto scheletrico, contribuendo così a garantire la resistenza strutturale e la durezza delle ossa. Il restante 2% è principalmente distribuito nei fluidi extracellulari, con una concentrazione normale nel plasma da circa 2,2 a 2,5 mm (da 9 a 10 mg/dl) nella vacca adulta, con valori più alti per i vitelli. (NRC, 2021).

- Fosforo

Circa l'80% del fosforo (P) presente nel corpo si trova principalmente nelle ossa e nei denti sotto forma di sali di apatite e di fosfato di calcio. Si ritrova in ogni cellula del corpo, e praticamente tutte le transazioni energetiche coinvolgono la formazione o la rottura di legami ad alta energia contenenti fosfato, come quelli presenti nell'adenosina trifosfato (ATP). La fosforilazione svolge un ruolo fondamentale nella regolazione di numerosi enzimi. Il fosforo è coinvolto anche nell'equilibrio acido-base del sangue e di altri fluidi corporei, oltre a partecipare alla differenziazione cellulare e a costituire una parte delle pareti cellulari e del contenuto cellulare, sotto forma di fosfolipidi e acidi nucleici.

Nel plasma sanguigno degli animali da latte, la concentrazione normale di fosforo si situa tra 1,3 e 2,6 mmol/l (4-8 mg/dl), mentre nel sangue intero raggiunge dalle 6 alle 8 volte questi valori. Le concentrazioni nel plasma tendono a diminuire con l'avanzare dell'età e sono inferiori all'inizio della lattazione rispetto alle fasi successive.

Anche i microrganismi presenti nel rumine necessitano di fosforo, il quale viene fornito attraverso la dieta e il riciclo grazie alla saliva. Utilizzando diverse tecniche, le stime relative al riciclo del fosforo nelle vacche da latte in lattazione, alimentate con quantità adeguate o eccessive di fosforo, oscillano tra circa 30 e 75 g al giorno. Un'offerta insufficiente di fosforo al rumine può compromettere la digeribilità delle fibre. (NRC, 2021)

- Magnesio

Il magnesio (Mg) è un fondamentale catione intracellulare che agisce come co-fattore nelle reazioni enzimatiche presenti in tutte le principali vie metaboliche. Il magnesio extracellulare è essenziale per la regolare trasmissione nervosa, il funzionamento dei muscoli e la formazione di tessuto osseo minerale. Inoltre, gioca un ruolo chiave nella regolazione dell'omeostasi del calcio (Ca) e del fosforo (P). Concentrazioni basse di magnesio nel siero sanguigno riducono la risposta dell'ormone paratiroideo (PTH) alle concentrazioni basse di calcio nel sangue. Nei casi di deficit di magnesio, sia negli esseri umani che negli animali da laboratorio, si riscontrano concentrazioni più basse di 1,25-diidrossivitamina D nel siero, il che potrebbe comportare una minore sensibilità alla vitamina D.

Come riportato in NRC (2021), nel sangue delle vacche, la concentrazione di magnesio di solito oscilla tra 0,75 e 1,0 mmol/l (equivalente a 1,8 e 2,4 mg/dl).

- Sodio, Cloro e Potassio

Il sodio (Na), il potassio (K) e il cloruro (Cl-) giocano un ruolo cruciale nella regolazione ionica del sangue e delle cellule, con le loro concentrazioni regolate attentamente. Agiscono come osmo-regolatori, influenzando l'assorbimento dell'acqua e il flusso tra fluidi extracellulari e intracellulari, nonché attraverso la parete ruminale e intestinale. Inoltre, hanno un notevole impatto sull'equilibrio acido-base del sistema.

La dieta comporta un assorbimento effettivo di almeno il 90% degli ioni forti; quindi, l'escrezione fecale degli ioni forti è principalmente di origine metabolica. La regolazione degli ioni forti è principalmente affidata ai reni tramite l'escrezione urinaria. (NRC, 2021).

Il potassio (K) rappresenta il terzo minerale più abbondante nel corpo umano ed è essenziale che venga fornito quotidianamente poiché il nostro organismo dispone di una capacità di immagazzinamento limitata, mentre la richiesta di potassio da parte dell'organismo è notevolmente elevata. Il potassio svolge un ruolo cruciale nella regolazione della pressione osmotica e dell'equilibrio acido-base, nell'equilibrio idrico, nella trasmissione degli impulsi nervosi, nella contrazione muscolare e nel trasporto di ossigeno e anidride carbonica. Inoltre, agisce come attivatore o co-fattore in numerose reazioni enzimatiche, contribuisce all'assorbimento cellulare dell'arsenico (As) e alla sintesi delle proteine, partecipa al metabolismo dei carboidrati e supporta il mantenimento del tessuto cardiaco e renale in uno stato normale. All'interno delle cellule, il potassio costituisce l'elettrolita predominante, con concentrazioni che oscillano tra 150 e 155 mEq/l. Al contrario del sodio (Na) e del cloro (Cl), le concentrazioni di potassio (K⁺) al di fuori delle cellule sono basse, circa 5 mEq/l. La stragrande maggioranza del potassio nel sangue è situata all'interno dei globuli rossi. Circa l'80% del potassio presente nell'organismo è associato ai tessuti magri e alle ossa. Inoltre, i contenuti gastrointestinali costituiscono circa il 15% del totale del potassio corporeo e sono influenzati dalla quantità di potassio presente nella dieta (NRC, 2021).

- Zolfo

Circa lo 0,15% del corpo è costituito da zolfo (S), prevalentemente presente sotto forma di aminoacidi solforati e di aminoacido solfonico noto come taurina. Inoltre, lo zolfo è un elemento costituente della tiamina e della biotina e di altre molecole biologicamente rilevanti. Nei bovini, la metionina, la tiamina e la biotina non possono essere sintetizzate internamente e devono essere fornite attraverso l'alimentazione o prodotte dai microrganismi presenti nel rumine. Lo ione solfato (SO₄²⁻) è presente negli spazi cellulari ed extracellulari e le sue

concentrazioni sono presumibilmente regolate tramite meccanismi di omeostasi, inclusa l'eliminazione renale e, forse, altri processi. La funzione primaria dello ione solfato (SO_4^{2-}) è quella di regolare l'equilibrio acido-base. (NRC, 2021).

1.2.2. I Microelementi

I Microelementi, noti anche come oligonutrienti, sono elementi chimici necessari in quantità minori rispetto ai Macroelementi, ma rivestono un ruolo assolutamente fondamentale nelle funzioni fisiologiche degli animali. Tra i Micronutrienti principali, figurano il cobalto, il rame, lo iodio, il ferro, il manganese, il selenio e lo zinco, i quali svolgono una vasta gamma di funzioni cruciali nel contesto metabolico. Questi elementi appartengono alle categorie di catalizzatori, in quanto costituiscono una parte integrante di enzimi e ormoni, e di regolatori, poiché sono strettamente associati ai processi di replicazione cellulare, esercitando un impatto significativo su tali meccanismi (Pirondini, 2014).

- Cobalto

La funzione principale del cobalto (Co) è servire da precursore per la sintesi della vitamina B12 (cobalamina) nel rumine. I microbi presenti nel rumine possono generalmente produrre una quantità sufficiente di vitamina B12 se la dieta fornisce una quantità adeguata di cobalto. Oltre a produrre vitamina B12, questi batteri possono anche sintetizzare analoghi della vitamina B12, i quali non hanno attività biologica. La presenza di tali analoghi di vitamina B12 nel fegato e nel sangue riduce l'efficacia di questa vitamina, rendendo necessaria l'attenzione alla quantità di cobalto nella dieta. Tuttavia, concentrazioni epatiche di vitamina B12 inferiori a 0,1 mg/g di peso umido indicano una carenza di cobalto (NRC, 2021).

- Rame

Il rame (Cu) è un elemento costituente di molte proteine ed è essenziale per la sintesi dell'emoglobina, nonché per il corretto funzionamento del metabolismo del ferro.

Analogamente allo zinco (Zn), il rame è un componente del superossido dismutasi citosolica (SOD), un enzima che svolge un ruolo cruciale nella protezione delle cellule contro gli effetti dannosi delle specie reattive dell'ossigeno (ROS). Questo meccanismo di difesa è particolarmente significativo nelle cellule fagocitiche e può rappresentare una modalità primaria per la riduzione delle malattie infettive, a condizione che sia fornita una quantità adeguata di rame (NRC, 2021).

- Iodio

Lo iodio (I) è un elemento essenziale per il corretto funzionamento dell'organismo, ma il suo ruolo principale come nutriente indispensabile è nella sintesi degli ormoni tiroidei, noti come tiroxina (T4) e triiodotironina (T3). Questi ormoni svolgono un ruolo fondamentale nella regolazione del metabolismo energetico del corpo.

Nel processo di sintesi degli ormoni tiroidei, lo iodio svolge un ruolo cruciale. In particolare, la quantità di iodio incorporata negli ormoni tiroidei può variare notevolmente in base al peso e alle condizioni fisiologiche degli animali. In vitelli con un peso di 45 kg, la quantità di iodio incorporata negli ormoni tiroidei è di circa 0,25 mg al giorno. Tuttavia, questa quantità aumenta significativamente nelle manze non gravide che pesano circa 400 kg, raggiungendo circa 1,4 mg di iodio al giorno. Durante la gravidanza delle vacche, in particolare nella fase avanzata, si osserva un ulteriore aumento nell'incorporazione di iodio negli ormoni tiroidei, che può raggiungere circa 1,5 mg al giorno (NRC, 2021).

- Ferro

Il ferro (Fe) ha una moltitudine di funzioni all'interno del corpo, in particolare riveste un ruolo fondamentale nel trasporto dell'ossigeno, nel trasporto degli elettroni, nell'immunità, nel metabolismo energetico e nelle regolazioni genetiche. La carenza di ferro provoca anemia microcitica ipocromica dovuta alla mancata produzione di emoglobina.

Per garantire il corretto apporto di ferro, è fondamentale seguire una dieta bilanciata. Molti alimenti contengono ferro, ma è particolarmente abbondante nelle polpe di barbabietola. Secondo diverse fonti, il fabbisogno quotidiano di ferro consigliabile può oscillare tra i 12 e i 18 parti per milione (ppm), arrivando fino a 75 ppm.

È importante sottolineare che, mentre è essenziale soddisfare le esigenze di ferro, un eccesso può anche essere dannoso. La dose massima nella dieta giornaliera raccomandata è di 750 ppm, e superare questa quantità può comportare rischi per la salute (Fantini, 2012).

- Manganese

Il manganese (Mn) è un elemento di importanza essenziale per una serie di funzioni vitali. Esso agisce come un potente attivatore enzimatico e svolge un ruolo chiave nella struttura di numerosi enzimi cruciali per il nostro benessere.

Tra gli enzimi che richiedono la presenza del manganese, si possono citare la glicosiltrasferasi, il piruvato carbossilasi e la manganese superossido dismutasi. Questi enzimi

sono strettamente coinvolti nel metabolismo dei grassi e degli zuccheri, contribuendo in modo significativo a regolare i processi di sintesi e degradazione di queste sostanze nel corpo.

Il manganese è presente in diversi alimenti, anche se le concentrazioni possono variare notevolmente. In particolare, il manganese è abbondante in alimenti come il lupino bianco, i sottoprodotti del riso e i crusconi. Inoltre, numerosi alimenti comuni nella nostra dieta contengono quantità apprezzabili di manganese, contribuendo al nostro apporto giornaliero.

Per quanto riguarda le esigenze specifiche di manganese per le vacche in lattazione, il fabbisogno oscilla generalmente tra 13 e 14 ppm. Tuttavia, per garantire una nutrizione ottimale e la produzione di latte di qualità, spesso viene considerata un'integrazione tra 50 e 90 ppm. (Fantini, 2012).

- Zinco

Lo zinco (Zn) è un elemento coinvolto in oltre 200 enzimi e partecipa al metabolismo di macromolecole, svolge un ruolo significativo nel funzionamento del sistema immunitario, nell'epigenetica, nella regolazione ormonale, nella trasmissione neurale e nell'apoptosi, processo controllato geneticamente che determina la morte programmata di una cellula ad un certo punto del suo ciclo vitale (NRC, 2021).

Essendo il Selenio il microelemento di principale interesse della tesi, verrà trattato approfonditamente nel seguente paragrafo.

1.3. Il Selenio

1.3.1. Definizione

Il Selenio (Se) è un elemento chimico che occupa la posizione numero 34 nella tavola periodica degli elementi. Questo non metallo è stato scoperto nel 1817 da un chimico svedese di nome Jons Jacob Berzelius ed è situato nel quarto periodo della tavola periodica. Il Selenio è considerato un oligoelemento a causa della sua bassa concentrazione nella crosta terrestre, che è di soli 0,05 parti per milione (ppm).

Il Selenio è stato identificato come un nutriente essenziale per gli animali per la prima volta da Schwarz e Foltz (Ullah e coll., 2020). Questo elemento svolge un ruolo cruciale nella salute degli animali da allevamento, partecipando a numerosi processi biochimici e fisiologici. Nei

bovini e in altri animali da allevamento, un'adeguata assunzione di Selenio è fondamentale per prevenire una serie di disturbi, tra cui la malattia del muscolo bianco, la malattia cardiaca del gelso, la degenerazione epatica necrotica alimentare, i problemi di parto, la ritenzione della placenta, la paraplegia post-partoriente e la mortalità embrionale precoce. Nel caso dei bovini, l'integrazione di Selenio è stata associata alla riduzione dei disturbi riproduttivi post-partum, come le cisti ovariche e la metrite, e alla prevenzione della mastite clinica e subclinica.

Il Selenio è anche un componente strutturale di importanti proteine coinvolte nei meccanismi di difesa dell'organismo. La sua presenza è essenziale per il funzionamento di queste proteine, che svolgono un ruolo cruciale nella risposta immunitaria e nella prevenzione di patologie.

Tuttavia, a causa della sua scarsa presenza nel terreno, il Selenio spesso è carente nella catena alimentare, per questa ragione, è spesso consigliata l'integrazione di Selenio negli alimenti degli animali da allevamento, in modo da garantire un apporto sufficiente. (Ullah e coll., 2020).

È importante inoltre notare che, sebbene l'integrazione di Selenio svolga un ruolo essenziale nell'aumentare la redditività delle vacche da latte, un eccesso di Selenio può essere tossico e deve essere evitato. Un dosaggio corretto e monitorato è essenziale per garantire che le vacche da latte traggano il massimo beneficio da questa importante sostanza senza incorrere in rischi per la loro salute.

1.3.2. Funzioni del Selenio

Il Selenio è un microelemento di vitale importanza per l'integrazione delle diete destinate agli animali.

Innanzitutto, il Selenio assume la valenza di un efficace agente antiossidante. L'ossidazione è un processo in cui gli elettroni vengono persi. Questo processo può dar luogo alla creazione di specie reattive dell'ossigeno (ROS) che, se prodotte in eccesso, risultano dannose per le cellule, causando danni ai lipidi, acidi nucleici e proteine, e rischiano di causare diverse patologie. Durante situazioni di stress, il corpo necessita di un apporto supplementare di antiossidanti tramite il cibo o l'acqua poiché il sistema antiossidante interno potrebbe non essere in grado di far fronte alla produzione eccessiva di ROS. Gli antiossidanti svolgono un ruolo cruciale nel proteggere il corpo da queste ROS. Il Selenio è un antiossidante fondamentale che si trova negli alimenti ed è un componente essenziale di numerose proteine coinvolte nella difesa antiossidante, tra cui il glutatione perossidasi (GSHpx). L'attività del glutatione perossidasi risulta migliore negli animali che assumono Selenio tramite l'alimentazione rispetto a quelli carenti di Selenio. Questo particolare aspetto è di grande importanza per i neutrofili, le

cellule del sistema immunitario, che devono creare un ambiente ossidante per eliminare i batteri senza causare danni a se stessi (Ullah e coll., 2020).

Il Selenio è altresì fondamentale per il corretto funzionamento del sistema immunitario delle bovine da latte, contribuendo in modo sostanziale alla prevenzione delle infezioni e al mantenimento del loro stato di salute generale. Infine, rappresenta un elemento chiave nella prevenzione delle carenze nutrizionali. Assicurare che le bovine da latte ricevano una quantità adeguata di Selenio assume un'importanza vitale per evitare problemi di salute, tra cui la temibile malattia del muscolo bianco (Piva e coll., n.d.).

Inoltre, il Selenio previene la carenza della vitamina E, con cui collabora sinergicamente per esercitare un'attività antitumorale. È importante notare che il metabolismo del Selenio è strettamente legato a quello della vitamina E, il cui ruolo cruciale è prevenire la formazione di perossidi dannosi. Pertanto, un adeguato apporto di Selenio e vitamina E è fondamentale per mantenere un equilibrio nella protezione cellulare e prevenire il rischio di patologie legate all'ossidazione e al danno cellulare.

Infine, il Selenio gioca un ruolo fondamentale nella produzione e nella riproduzione delle vacche da latte, come si avrà modo di approfondire in seguito ai paragrafi successivi.

1.3.3. Fabbisogni di Selenio nella vacca da latte

L'ottava revisione del *Nutrient Requirements of Dairy Cattle* (NRC 2021- The National Academy Press, Washington, DC- www.nap.edu) riporta le nuove linee guida per il razionamento e la gestione dei vitelli, delle manze e delle vacche da latte. Il fabbisogno giornaliero di Selenio è rimasto invariato rispetto a quanto suggerito dal NRC del 2001, nonché 0.3 mg/kg s.s. sia per le vacche da latte in lattazione che in asciutta.

Tab. 1 - Fabbisogni minimi di minerali biodisponibili per bovine in asciutta di NRC 2001 e NRC 2021

	NRC, 2001	NRC, 2021	
		Da -60 a -21	< 21
Giorni al parto	----		
Calcio, % s.s.	0,44-0,48	0,31	0,39
Fosforo, % s.s.	0,22-0,26	0,19	0,21
Magnesio, % s.s.	0,11-0,16	0,13	0,14
Potassio, % s.s.	0,51-0,62	0,62	0,69
Sodio, % s.s.	0,10-0,14	0,16	0,17
Ciolo, % s.s.	0,11-0,16	0,13	0,14
Zolfo, % s.s.	0,20	0,20	0,20
Rame, mg/kg/ s.s.	12-18	10	19
Cobalto, mg/kg/ s.s.	0,11	0,2	0,2
Iodio, mg/kg/ s.s.	0,40-0,50	0,51	0,52
Ferro, mg/kg/ s.s.	13-18	13	15
Manganese, mg/kg/ s.s.	16-24	38	43
Selenio, mg/kg/ s.s.	0,3	0,3	0,3
Zinco, mg/kg/ s.s.	21-30	30	32
DCDA-S, mEq/ 100 g s.s.	----	60	100

Tab. 2 - Fabbisogni minimi di minerali biodisponibili per bovine in lattazione di NRC 2001 e NRC 2021

	NRC, 2001	NRC, 2021
Calcio, % s.s.	0,60-0,67	0,60-0,67
Fosforo, % s.s.	0,32-0,38	0,35-0,38
Magnesio, % s.s.	0,18-0,21	0,17-0,18
Potassio, % s.s.	1,00-1,07	0,97-1,10
Sodio, % s.s.	0,22-0,23	0,21-0,23
Ciolo, % s.s.	0,24-0,29	0,29-0,34
Zolfo, % s.s.	0,20	0,20
Rame, mg/kg/ s.s.	11	8-10
Cobalto, mg/kg/ s.s.	0,11	0,20
Iodio, mg/kg/ s.s.	0,40-0,60	0,41-0,47
Ferro, mg/kg/ s.s.	12-18	16-21
Manganese, mg/kg/ s.s.	13-14	26-31
Selenio, mg/kg/ s.s.	0,3	0,3
Zinco, mg/kg/ s.s.	43-55	57-66
DCDA-S, mEq/ 100 g s.s.	----	+130, +157

La variabilità delle indicazioni è legata al peso vivo e alla produttività delle bovine.

(Formigoni, 2022)

Gli animali da allevamento assumono il Selenio attraverso i foraggi e i concentrati somministrati nella loro razione. La quantità di Selenio presente nei foraggi varia in base all'essenza botanica, al tipo di terreno e alla concentrazione di Selenio nel suolo. Esiste quindi una correlazione tra il contenuto di questo micronutriente nel suolo e quello presente nei foraggi coltivati su di esso. Le piante assorbono maggiormente il Selenio in terreni ben aerati e alcalini. La presenza di Selenio nel terreno è considerata bassa quando inferiore a 0.3 mg/kg di terreno secco (ppm), alta se superiore a 0.9 ppm e molto elevata se oltrepassa 1.5 ppm.

La concentrazione di Selenio nei foraggi è anche correlata al contenuto proteico: le parti delle piante più ricche di proteine contengono anche maggiori quantità di Selenio, il che spiega perché nelle foglie il contenuto è 1,5-2 volte superiore rispetto agli steli. (Fantini, 2019).

Nel contesto dell'integrazione della dieta animale, si fa comunemente ricorso a fonti inorganiche e organiche di Selenio. Quelle inorganiche sono il selenito di sodio e il selenato di sodio; mentre quelle organiche, generalmente più biodisponibili e più facilmente assorbibili, sono i lieviti arricchiti di Selenio e la selenometionina. Le fonti organiche sfruttano il trasporto fornito dagli aminoacidi per il loro assorbimento. La digeribilità apparente del Selenio nei foraggi e nei concentrati varia dal 36% al 74%, mentre quella del Selenio presente nel selenito di sodio oscilla tra il 30% e il 50% (Fantini, 2019).

Nel corpo delle bovine, il Selenio è presente in due forme "selenizzate" di aminoacidi: la selenometionina, che funge da deposito di Selenio nel corpo, e la selenocisteina, che costituisce la forma attiva del selenio essendo legata al sito catalitico di ogni selenoproteina.

Nello specifico, la selenometionina è una forma di Selenio legata all'aminoacido metionina. Quando viene assunta tramite la dieta, l'organismo la riconosce come metionina e la utilizza per sintetizzare proteine, incorporando il Selenio nella struttura delle proteine stesse. Questo processo è fondamentale per diverse funzioni biologiche, inclusa la protezione contro lo stress ossidativo e il mantenimento della salute cellulare. La selenocisteina è, invece, un aminoacido contenente Selenio, non incorporato nelle proteine, che è essenziale per le selenoproteine. La selenocisteina è un analogo della cisteina, un aminoacido proteogenico contenente zolfo. Nelle selenoproteine, un residuo di selenocisteina sostituisce la cisteina in determinate posizioni nella sequenza aminoacidica, rendendo la proteina funzionale.

Oggi, la disponibilità di Selenio sta assistendo ad una progressiva diminuzione, poiché da un lato il suolo tende a impoverirsi progressivamente di questo oligoelemento nel corso del tempo, dall'altro lato le necessità nutrizionali delle bovine da latte sono in aumento.

Data la possibilità di insorgenza di carenze (e anche di tossicità) di Selenio, è di fondamentale importanza monitorare regolarmente la concentrazione di Selenio nei foraggi prodotti in azienda per comprendere il processo di trasferimento di questo oligoelemento dal suolo alle piante. La valutazione dello “status del Selenio”, ovvero la misurazione della sua concentrazione nel latte e nel sangue, può fornire informazioni di grande valore per prevenire carenze pericolose o eccessi. È fondamentale evitare diete che superino lo 0,3% raccomandato, poiché una dieta contenente oltre 2 ppm di Selenio è considerata tossica e può comportare gravi rischi per la salute del bestiame (Fantini, 2019).

1.3.4. Fonti di Selenio

Le fonti di Selenio a disposizione dei nutrizionisti per integrare le diete per vacche da latte – qualora sia necessaria un’integrazione – possono essere di natura organica o inorganica.

Il selenio inorganico può essere somministrato attraverso diverse forme chimiche, tra cui il solfato di selenio, il selenato di sodio, il selenito di sodio e il selenio elementare.

Il solfato di selenio è un sale contenente Selenio che rappresenta una delle forme più diffuse di selenio inorganico impiegate nell’alimentazione del bestiame, ed è utilizzata come integratore nella dieta per prevenire carenze di Selenio.

Il selenato di sodio costituisce un altro composto inorganico contenente Selenio ed è impiegato come fonte di Selenio nei mangimi. Data la sua elevata solubilità, gli animali sono in grado di assorbire meglio questo tipo di integrazione rispetto al solfato di selenio.

Il selenito di sodio è un sale di sodio dell’acido selenioso, composto da ioni di sodio e selenito.

Il selenio elementare rappresenta una forma inorganica più pura di Selenio, sebbene sia utilizzata in misura minore rispetto al solfato di selenio e al selenato di sodio. Questa forma è meno solubile e potrebbe richiedere una conversione nel corpo dell’animale per diventare una forma utilizzabile.

Il selenio organico, invece, può essere fornito principalmente sotto forma di selenometionina e selenocisteina, due fonti ad elevata solubilità e più facilmente assorbibili per l’animale rispetto alle forme inorganiche.

La selenometionina è un aminoacido contenente Selenio, ed è spesso estratto da lieviti arricchiti di Selenio chiamati lieviti selenizzati¹. Questa forma è ben assorbita dal tratto digestivo delle vacche e può contribuire a soddisfare le loro esigenze di Selenio.

La selenocisteina è un altro aminoacido contenente Selenio ed è coinvolto nella sintesi di selenoproteine, che svolgono importanti funzioni nel metabolismo del Selenio.

Nel corso degli anni si è condotto un ampio dibattito per determinare quale tra le fonti di Selenio, organiche o inorganiche, fosse la più efficace nell'integrazione della dieta delle vacche da latte. L'*American Dairy Science Association* nel 2006 ha condotto un esperimento sul supplemento di Selenio nelle vacche da latte, analizzando gli effetti della concentrazione di Selenio nel sangue, nel latte e nelle feci e urine delle 20 bovine di razza Holstein sottoposte allo studio.

Nel corso della sperimentazione, agli animali sono state somministrate le stesse razioni miste totali, ciò che variava era solo la fonte o la concentrazione di selenio alimentare nei 5 trattamenti sperimentali, della durata ciascuno di 5 settimane. Nel trattamento 1, non è stato aggiunto Selenio, portando il contenuto totale di selenio alimentare a 0,15 mg/kg di sostanza secca. Per i trattamenti 2, 3 e 4 – in cui è stato utilizzato il lievito selenizzato – i livelli di selenio alimentare erano rispettivamente di 0,27, 0,33 e 0,40 mg/kg di sostanza secca. Nel trattamento 5, il Selenio è stato aggiunto sotto forma di selenito di sodio, con una quantità di 0,25 mg per chilogrammo di sostanza secca (Juniper e coll., 2006).

Passato il periodo di studio, si è giunti alla conclusione che la fonte e la concentrazione del selenio alimentare non hanno influito significativamente sull'ingestione media giornaliera, sulla resa del latte, sulle concentrazioni di grassi, proteine e lattosio del latte, sull'urea del latte e sul contenuto delle cellule somatiche. Le analisi ematochimiche ed ematologiche hanno mostrato pochi effetti significativi del trattamento, e lo stesso si è verificato per le analisi di feci e urine.

Tuttavia, in confronto al selenito di sodio, l'utilizzo di lieviti selenizzati ha aumentato in modo significativo la concentrazione di Selenio nel latte, indicando una migliore biodisponibilità del Selenio derivato dai lieviti selenizzati. Nello specifico, l'utilizzo di lievito selenizzato ha prodotto una concentrazione di Selenio nel latte significativamente più elevata ($P < 0,05$), pari a 27,8 µg/L rispetto a 20,8 µg/L ottenuti con il selenito di sodio. L'aumento del

¹ Questo tipo di selenio organico viene prodotto facendo crescere lieviti, come il *Saccharomyces cerevisiae* (CNCM I-3060), in un ambiente contenente Selenio.

contenuto di Selenio nel latte derivante dall'uso di lieviti selenizzati al posto del selenito di sodio potrebbe contribuire a mitigare l'ipotetica carenza di Selenio. Questa conclusione è avvalorata dallo studio, poiché la concentrazione di Selenio nel latte è aumentata dell'84% quando i lieviti selenizzati hanno sostituito il selenito di sodio nelle diete delle vacche da latte (Juniper e coll., 2006).

Dallo studio si è evinto che si tendono a favorire le fonti organiche rispetto alle inorganiche. Sebbene il selenato di sodio sia più utilizzato perché meno costoso rispetto al selenio organico, le forme organiche di Selenio sono più biodisponibili e sicure, quando si tratta di migliorare lo stato del Selenio nei ruminanti, e potrebbero essere più facilmente trasferite nel latte (Ruminantia, 2021).

CAPITOLO II

Eccessi e carenze di Selenio sulla Produzione

2.1. La produzione del latte nelle vacche

Una vacca da latte è un esemplare femmina della specie dei bovini accuratamente selezionato e allevato con lo scopo specifico di produrre latte in abbondanza. Questo animale si distingue per la sua notevole capacità di generare grandi volumi di latte di alta qualità ed è soggetto a pratiche di allevamento e gestione mirate a massimizzare la sua produzione lattiera. Il latte derivato da una vacca da latte è principalmente destinato al consumo umano o alla trasformazione in prodotti lattiero-caseari quali latte pastorizzato, formaggio, yogurt e burro.

Le razze bovine scelte per diventare vacche da latte sono spesso selezionate in base alla loro predisposizione genetica a produrre quantità significative di latte e sono sottoposte a programmi di alimentazione e gestione ottimali per preservare e aumentare costantemente la loro produzione lattiera nel corso del tempo.

2.1.1. La lattazione

Al fine di avviare il processo di produzione del latte, le bovine necessitano di partorire, e il ciclo di lattazione costituisce il periodo compreso tra due nascite (detto interparto e della durata in media di 12 mesi). Quest'ultimo si suddivide in quattro fasi distinte: l'inizio, la metà e la conclusione del ciclo di lattazione – ciascuna della durata approssimativa di 100 giorni – ed un periodo di asciutta, che dovrebbe persistere per un intervallo di tempo di circa 65 giorni. In un contesto ideale, le bovine dovrebbero partorire con una cadenza annuale. Conformemente a quanto precedentemente illustrato nel primo capitolo, è opportuno notare come una serie di mutamenti si manifestino nel corso delle varie fasi della lattazione nelle bovine. Oltre alle oscillazioni nella produzione lattiera, si verificano variazioni nell'assunzione alimentare, nelle condizioni corporee e nel periodo di gravidanza (The Cattlesite, 2015).

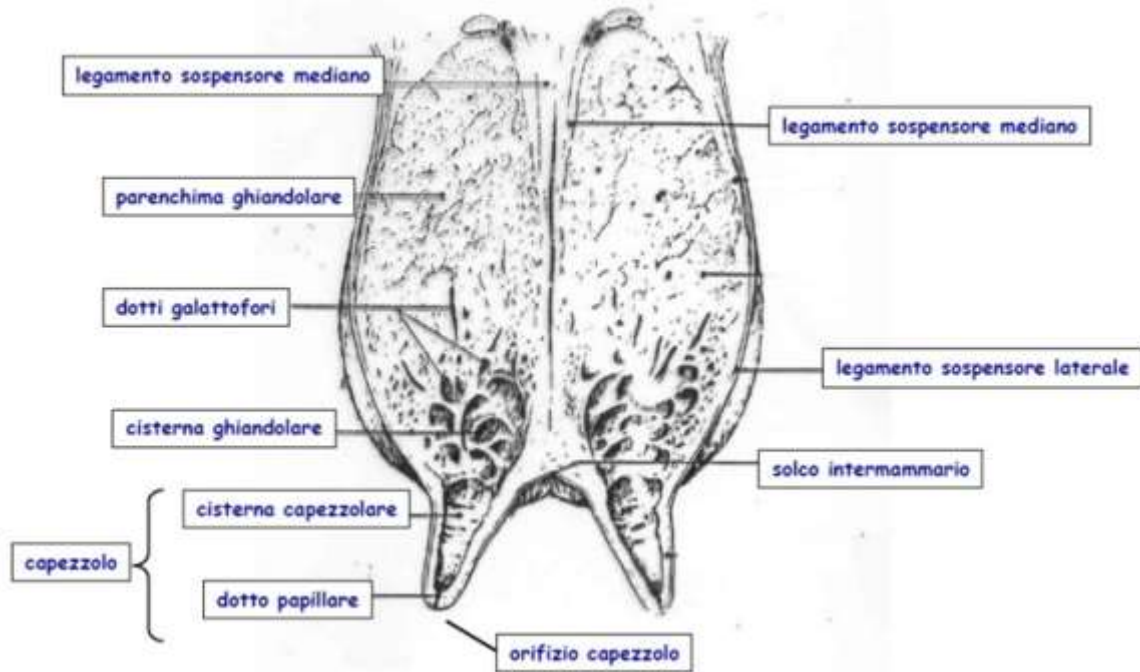
Nella prima fase della lattazione, c'è un notevole aumento nella produzione di latte, con un picco che si raggiunge entro 3-6 settimane dopo il parto. Nei primi 100 giorni le vacche iniziano a ridurre il loro consumo di cibo, causando una perdita di peso dovuta alla produzione di latte superiore all'assunzione di sostanze nutritive, noto come squilibrio energetico negativo. Una volta che l'assunzione di sostanze secche raggiunge il picco, la vacca smette di perdere peso. Nella metà della lattazione, l'obiettivo principale è mantenere il picco di produzione di latte per il più a lungo tempo possibile e massimizzare l'assunzione di sostanza secca. Le bovine dovrebbero consumare circa il 4% del loro peso corporeo, ed è fondamentale alimentarle con foraggio di alta qualità. Verso la fine della lattazione, la produzione di latte continua a diminuire insieme al consumo di cibo. In questo periodo, le vacche iniziano a guadagnare peso per sostenere la crescita del feto e per ripristinare i tessuti persi durante le prime fasi della lattazione. Per mantenere la salute della ghiandola mammaria della vacca, è essenziale fornire un periodo di "asciutta" che si manifesta negli ultimi 45-60 giorni di gravidanza, in cui la bovina non produce latte. Se il periodo di asciutta è inferiore a 40 giorni o superiore a 70 giorni, ciò può influire negativamente sulla produzione di latte (holsteinfoundation.org).

Si consideri che, subito dopo il parto, una vacca può avviare la produzione di latte a un tasso di 10 kg al giorno, raggiungere un picco di 20 kg al giorno (fino a 30 kg per le bovine ad alta produttività) circa 7 settimane dopo l'inizio del periodo di lattazione, per poi declinare gradualmente a 5 kg al giorno al termine della stessa (The Cattlesite, 2015).

2.1.2. L'apparato mammario

La lattazione è il termine che definisce il complesso di processi legati alla produzione e all'emissione del latte da parte delle ghiandole mammarie. L'apparato mammario delle vacche da latte è l'organo responsabile per la produzione, l'accumulo e la secrezione del latte. Questo processo coinvolge diversi componenti chiave, tra cui le ghiandole mammarie, il sistema circolatorio e il sistema nervoso.

Nelle bovine, la responsabilità di produrre il latte è affidata alle mammelle, che sono composte da quattro ghiandole mammarie distinte tra loro.



(<https://www.docenti.unina.it/webdocenti-be/allegati/materiale-didattico/34008106>)

La sintesi del latte ha inizio in risposta a segnali ormonali specifici associati al momento del parto, e la sua produzione è mantenuta grazie a ulteriori segnali ormonali innescati dalla suzione o dalla mungitura.

La prima fase dell'attività mammaria è conosciuta come "mammogenesi" e si articola nella morfogenesi dei dotti e quella degli alveoli. Nello sviluppo dei dotti mammari, il GH (ormone della crescita) e gli estrogeni giocano un ruolo cruciale. Questi ultimi stimolano la produzione di IGF-1 (fattore di crescita simile all'insulina 1) da parte delle cellule stromali e delle cellule della mammella. Per quanto riguarda la proliferazione degli alveoli, sono importanti non solo gli estrogeni ma anche il progesterone e la prolattina (PRL). Tra gli ormoni "metabolici", il GH e l'insulina svolgono un ruolo significativo.

La fase successiva alla mammogenesi è la "lattogenesi", che è suddivisa in due sottofasi.

La lattogenesi uno inizia a metà della gravidanza con l'espressione di alcuni geni coinvolti nella sintesi dei componenti del latte. Durante questa sottofase, il progesterone tende a ostacolare la secrezione attiva del latte, mentre la prolattina e il lattogeno placentare hanno un effetto positivo. La lattogenesi due corrisponde alle ultime settimane di gravidanza prima del parto e coinvolge la prolattina e l'ossitocina, che contribuiscono ad aumentare l'espressione dei geni responsabili della produzione delle proteine del latte. Durante questa fase, si verificano cambiamenti nelle connessioni tra le cellule dell'epitelio monostratificato mammario, il colostro viene prodotto e le immunoglobuline vengono trasferite in esso.

La “galattopoiesi” è la fase della vera e propria lattazione. All’inizio della lattazione, l’80% del glucosio viene utilizzato per la produzione di latte, causando un passaggio da un metabolismo anabolico a uno catabolico e la mobilitazione delle riserve corporee. Il GH svolge un ruolo fondamentale, aumentando il flusso di sangue alla mammella e favorendo la lipolisi e la diabetogenesi. Inoltre, legandosi ai recettori stromali specifici, induce la secrezione di IGF-1 con un effetto paracrino sulle cellule epiteliali. La prolattina aumenta l’assorbimento intestinale di calcio e facilita l’assunzione di acidi grassi a lunga catena nella mammella. Gli ormoni prodotti dal tratto gastrointestinale, oltre al GH, svolgono un ruolo metabolico fondamentale nella lattazione, tra cui corticosteroidi, ormoni tiroidei e insulina. L’ossitocina svolge un ruolo essenziale, stimolata sia dalla suzione durante l’allattamento che dalla mungitura. La concentrazione di GH varia tra le bovine ad alto potenziale genetico e basso potenziale genetico. La prolattina è essenziale per molte fasi della lattazione, ma la sua concentrazione ematica sembra non subire variazioni significative a causa della selezione genetica. Dopo il parto, la prolattina induce un periodo di infertilità, riducendo la secrezione da parte dell’ipotalamo dell’ormone GnRH.

L’ultima fase è l’“involuzione”, che si verifica quando vengono rimossi gli stimoli ormonali del GH e della prolattina. Ciò aumenta gli attivatori del plasminogeno in plasmina e porta ad una maggiore concentrazione di FIL (fattore inibitore del latte) nel latte, a causa della stasi del latte nella mammella. L’asciutta avviene quando la produzione di GH e PRL crolla, c’è una riduzione dello stimolo ormonale della mungitura e la stasi del latte nella mammella (Fantini, 2013).

2.2. Il Selenio nella produzione del latte

Il patrimonio genetico di una vacca da latte costituisce un determinante fondamentale della sua potenzialità produttiva, che rappresenta il limite massimo di latte che l’animale può generare. Il conseguimento della massima produzione di una vacca da latte richiede tuttavia che il patrimonio genetico venga messo nella migliore condizione per potersi esprimere in modo completo, e questo avviene solo in presenza di ottimali condizioni ambientali e di una corretta strategia alimentare.

La dieta deve garantire l’apporto adeguato, sia in termini di quantità che di qualità, dei principi nutritivi di cui l’animale necessita per mantenere un buono stato di salute, mantenere

una condizione corporea adeguata alla fase in cui si trova, essere in grado di riprodursi e raggiungere le produzioni attese. Come già affrontato, i fabbisogni nutritivi delle bovine variano in modo specifico in base alle diverse fasi fisiologiche che l'animale attraversa durante il suo ciclo di vita, tra cui il periodo di svezzamento, la fase di crescita, la fase di fecondazione e gravidanza, la lattazione e la fase di asciutta (Agricole Forte.com).

I requisiti alimentari devono quindi soddisfare compiutamente le esigenze dell'animale in termini di energia assimilabile, proteine, minerali essenziali, oligoelementi e vitamine.

I disturbi minerali rappresentano un aspetto di rilievo all'interno del panorama delle patologie metaboliche che interessano il bestiame bovino. Durante il periodo corrispondente alle ultime otto settimane di gravidanza, sia l'eccesso che la carenza, sia assoluta che relativa, di macro e microelementi possono condurre a gravi alterazioni del metabolismo. In particolare, nel contesto degli oligoelementi, le carenze di rame, manganese, zinco e Selenio si manifestano in maniera particolarmente significativa, soprattutto nei giorni antecedenti al parto (Fantini, 2014).

La produzione di latte è direttamente influenzata dalla salute generale dell'animale, dal benessere della ghiandola mammaria e dalle condizioni ambientali, come la carenza di nutrienti, l'approccio intensivo nel sistema di produzione e una condizione corporea inadeguata (BCS – Body Condition Score – troppo elevato o insufficiente). Per migliorare la produzione di latte nelle vacche in lattazione, è possibile ricorrere all'integrazione di minerali organici, tra cui il Selenio. Quest'ultimo riveste un ruolo fondamentale nella nutrizione delle vacche, e la sua carenza può compromettere il sistema immunitario, aumentando il rischio di malattie che, a loro volta, comportano una riduzione della produzione di latte (Ullah e coll., 2020). Nonostante il rilevante ruolo del Selenio come microelemento essenziale, è fondamentale evidenziare che un suo eccessivo consumo può altrettanto condurre ad una condizione di tossicità, con il potenziale rischio di avvelenamento e talvolta portare alla morte dell'animale.

2.2.1. Effetti della carenza di Selenio sulla produzione

La ridotta produzione di latte in una vacca può essere attribuita al fenomeno di stress ossidativo. Un organismo è classificato come "aerobio" quando è in grado di sfruttare l'ossigeno come agente ossidante, riducendolo ad acqua, e generando così una considerevole quantità di energia dai substrati alimentari. Tuttavia, l'utilizzo dell'ossigeno comporta rischi significativi per le cellule, poiché i prodotti della sua riduzione parziale includono i radicali

liberi, sostanze altamente reattive capaci di danneggiare molecole cruciali all'interno della cellula, come proteine, lipidi delle membrane e acidi nucleici (DNA e RNA).

Qualsiasi situazione endogena – come un aumento del metabolismo, l'assunzione di specifici farmaci o l'esposizione a fattori fisici – può incrementare la produzione di questi radicali liberi dell'ossigeno, noti come ROS (dall'acronimo inglese *Reactive Oxygen Species*), predisponendo così le cellule al danno (Halliwell e Gutteridge, 2007). Parallelamente alla capacità di utilizzare l'ossigeno, gli organismi aerobi hanno evoluto complessi sistemi antiossidanti per proteggersi dalla formazione dei ROS, neutralizzarli e riparare i danni da essi causati. Il termine “stress ossidativo” si riferisce al superamento delle capacità antiossidanti dell'organismo da parte della produzione di radicali liberi, che può avvenire a causa di una produzione eccessiva di ROS, una riduzione delle difese antiossidanti o entrambe le situazioni combinate.

Le bovine da latte ad alta produzione sono particolarmente suscettibili allo stress ossidativo, una condizione che può essere aggravata da vari fattori ambientali, fisiologici o alimentari e che può aumentare il rischio di sviluppare una varietà di patologie. Tra le cause più comuni di stress ossidativo – insieme allo stress metabolico, all'infiammazione e alle infezioni batteriche – rientra lo stress alimentare, spesso causato da carenze di oligoelementi, tra cui il Selenio, che riveste un ruolo fondamentale come agente antiossidante (Avellini, 2016).

La glutatione perossidasi (GSHpx) è un enzima di notevole importanza nella preservazione dell'integrità cellulare da eventuali danni causati da reazioni ossidative. La sua attività catalitica dipende in modo cruciale dalla presenza di un cofattore, il Selenio, in quanto la GSHpx contiene un residuo di selenocisteina, una forma specifica di cisteina, che svolge un ruolo fondamentale nell'eliminazione di radicali liberi e perossidi di idrogeno. Questa scoperta ha rivelato come il Selenio influenzi significativamente il funzionamento del sistema immunitario (Pirondini, 2014).

Conseguentemente, la compromissione del sistema immunitario in una vacca da latte può impattare in maniera negativa sulla sua produzione di latte. Le infezioni o malattie che colpiscono la vacca possono incidere sulla quantità di latte prodotto per varie ragioni: innanzitutto, la malattia può ridurre l'appetito della vacca, limitando così l'assunzione di nutrienti essenziali per la produzione lattiera. Inoltre, uno stress metabolico causato dalla malattia può compromettere la capacità della vacca di convertire il cibo in latte in modo efficiente. Ulteriormente, la riduzione nella produzione di latte può essere attribuita a

un'alterata funzionalità del sistema digestivo o un ridotto assorbimento dei nutrienti. Infine, alcune patologie possono influenzare la qualità del latte prodotto, ad esempio determinando un incremento dei livelli di cellule somatiche o la presenza di antibiotici nel prodotto lattiero.

Una risposta immunitaria compromessa a causa di qualsiasi deficienza nutrizionale rappresenta un elemento predisponente all'infiammazione della ghiandola mammaria. A tale riguardo, è stato scientificamente dimostrato che tra i fattori che incidono sull'insorgenza delle mastiti, le carenze di minerali, e in particolare di Selenio, giocano un ruolo significativo poiché influenzano in maniera significativa la funzionalità del sistema immunitario, il quale a sua volta impatta direttamente sullo stato di salute della ghiandola mammaria (Ruminantia, 2022).

La mastite bovina è un disturbo che provoca l'infiammazione della ghiandola mammaria e della mammella, ed è una delle patologie più comuni che possono colpire le vacche da latte. I sintomi più evidenti associati alla forma clinica della mastite si manifestano principalmente nella ghiandola mammaria e includono notevole gonfiore, un aumento significativo della temperatura, arrossamento e dolore evidente. Nei casi più gravi, è possibile osservare anche un aumento della temperatura corporea e cambiamenti nel latte prodotto, come la presenza di liquido acquoso, ostruzioni calciche, pus o sangue.

In aggiunta, possono emergere ulteriori segni clinici, tra cui una diminuzione nella produzione di latte, perdita di appetito, occhi incavati, ridotta mobilità (che può essere attribuita al disagio nella ghiandola mammaria o semplicemente al malessere generale), così come segni di diarrea e disidratazione.

Nel caso di mastite clinica acuta più grave, l'animale può presentare un significativo deterioramento del suo stato di salute. Al contrario, la mastite subclinica potrebbe non mostrare segni evidenti e piuttosto presentare pochi sintomi, oltre ad un aumento delle cellule somatiche rilevabili nel latte. Le vacche colpite da mastite subclinica producono latte di qualità inferiore, evidenziato da un conteggio di cellule somatiche superiore alla norma. Le possibilità di guarigione completa della ghiandola mammaria in un animale affetto sono limitate, con conseguente riduzione nella produzione di latte per il resto della lattazione in corso e per le successive lattazioni. Le vacche colpite presentano anche un aumento del rischio di compromissione della fertilità e di un parto prematuro (Phibro Animal Health, 2020).

In sintesi, è opportuno rilevare che la carenza di Selenio produce notevoli impatti sulla salute delle bovine e sulla loro capacità di produrre latte.

Ciononostante, è fondamentale evidenziare che tali effetti avversi si estendono anche al feto durante il periodo di gestazione, in quanto le sostanze nutritive sono trasferite dalla madre al feto attraverso la placenta, come descritto nel secondo capitolo. Inoltre, tali conseguenze perdurano durante il periodo post-partum per il vitello, che viene allattato con il latte materno. Se una madre ha una carenza di Selenio nella sua dieta, il latte che produce per i suoi vitelli potrebbe contenere quantità insufficienti di Selenio. Questo potrebbe portare a una carenza di Selenio nei vitelli, che potrebbe causare problemi di salute, come debolezza muscolare, difetti cardiaci e altri disturbi legati alla carenza di Selenio.

Per evitare la carenza di Selenio nei vitelli, è importante assicurarsi che le madri ricevano una dieta equilibrata e adeguata di Selenio. La gestione della nutrizione del bestiame è fondamentale per prevenire carenze nutrizionali nei vitelli e nel bestiame in generale.

2.2.2. Effetti dell'eccesso di Selenio sulla produzione

La deficienza di Selenio è un fattore che può compromettere la salute delle bovine e la produzione lattiera, e per evitare questa problematica, gli allevatori e i professionisti raccomandano l'integrazione del microelemento nell'alimentazione delle vacche da latte.

A questo proposito tuttavia, è opportuno sottolineare che non solo la carenza di Selenio, ma anche un suo eccessivo apporto, possono comportare conseguenze negative per la salute delle bovine, con impatti diretti sulla quantità e qualità della produzione del latte.

La gravità della tossicità da eccesso di Selenio è influenzata da diversi fattori, tra cui le modalità di somministrazione del Selenio, le specie animali coinvolte e le diverse forme chimiche dell'elemento. Tra i composti di Selenio, i Sali solubili (come il Na_2SeO_3 e il Na_2SeO_4) sono tra i più tossici, mentre i seleno-amminoacidi e le forme di Selenio presenti nei cereali sono moderatamente tossici. Al contrario, le forme scarsamente solubili (come il seleniuro di difenile, il $\text{SeS}_2\text{Na}_2\text{Se}$ e il Selenio elementare) sono considerati tra i meno tossici. Inoltre, va notato che la somministrazione orale di Selenio comporta minori rischi di tossicità rispetto alla somministrazione tramite iniezione (Ullah e coll., 2020).

La forma più comune di selenosi comprende la selenosi cronica – che è comunemente denominata malattia alcalina – e la selenosi acuta, che è conosciuta come barcollamento cieco.

Nel contesto dei bovini, l'avvelenamento acuto da Selenio si manifesta con una serie di segni evidenti, tra cui la comparsa di diarrea acquosa, comportamenti anomali come posture e movimenti strani, difficoltà nella respirazione, segni di dolore addominale, aumento della

temperatura corporea, prostrazione e, in alcuni casi, può portare alla morte. Questi sintomi acuti sono spesso associati a una rapida esposizione a elevate quantità di Selenio.

D'altra parte, l'avvelenamento cronico da Selenio si verifica quando i bovini consumano mangimi seleniferi per un periodo prolungato, che può estendersi per settimane o mesi. I segni di avvelenamento cronico sono più insidiosi e possono includere malformazioni degli zoccoli, perdita di peso evidente, perdita di pelo e zoppia. In casi avanzati di avvelenamento cronico, è possibile osservare atrofia del cuore, anemia e cirrosi epatica (Ullah e coll., 2020).

È di fondamentale importanza sottolineare che un'eccessiva assunzione di Selenio può avere effetti avversi sul sistema immunitario dei bovini; talvolta, infatti, questo fenomeno è spesso correlato all'incremento della produzione di radicali liberi dell'ossigeno (ROS) nell'organismo, inducendo uno stato noto come stress ossidativo². Il risultato di questo squilibrio è che il sistema immunitario dei bovini potrebbe non funzionare in modo ottimale. I radicali liberi in eccesso possono danneggiare le cellule del sistema immunitario, compromettendo la loro capacità di difendersi efficacemente da patogeni e agenti infettivi (Mehdi e Dufrasne, 2016). Ciò rende gli animali più vulnerabili alle malattie e alle infezioni, con gravi implicazioni per la loro salute e per la produzione di latte, che può venire notevolmente ridotta a causa di condizioni di salute compromesse.

L'eccessiva assunzione di Selenio può provocare, inoltre, effetti avversi sui tessuti organici del bovino, con particolare riferimento all'organo epatico, riconosciuto come l'organo di stoccaggio di tale elemento. Il Selenio, infatti, si accumula nel fegato e, in caso di un eccessivo afflusso rispetto al fabbisogno fisiologico, una porzione del medesimo viene espulsa dall'organismo mediante la secrezione biliare (Mehdi e Dufrasne, 2016). Tuttavia, è necessario sottolineare che un eccesso di Selenio risulta essere dannoso per la funzionalità epatica stessa, portando a una compromissione delle sue attività metaboliche. In tal modo, l'organo si ritrova incapace di processare i nutrienti in maniera adeguata, incluso quelli essenziali per la produzione di latte. Questo stato di disequilibrio metabolico inevitabilmente si traduce in una diminuzione sia della qualità che della quantità di latte prodotto.

In sintesi, si può affermare che, sebbene la carenza di Selenio sia più diffusa, non bisogna sottovalutare il rischio connesso all'iperassunzione di questo elemento. Pertanto, rispettare

²Gli antiossidanti in generale, compreso il Selenio, sono noti per la loro capacità di contrastare i radicali liberi e prevenire il danno cellulare, ma un eccesso di questi composti può, paradossalmente, innescare un aumento nella generazione di ROS

scrupolosamente i parametri di apporto di Selenio raccomandati dall'NRC (2021) nella dieta risulta di cruciale importanza per prevenire le potenziali conseguenze negative associate sia alla sua carenza che al suo eccesso.

2.3. Sperimentazione sull'aumento del Selenio nel sangue, colostro e latte

Nel 2004 l'Unità di ricerca di Zootecnica, Nutrizione e Alimenti del Dipartimento di Scienze degli Alimenti dell'Università degli Studi di Teramo ha condotto un esperimento che si è proposto di indagare il trasferimento di Selenio nel latte di bovine alimentate con medica disidratata arricchita.

La ricerca, condotta per 20 settimane, ha coinvolto 160 bovine in lattazione di razza Frisona Italiana allevate presso un'azienda della Granarolo sita in provincia di Bologna.

Gli animali, allevati in stabulazione libera, erano munti due volte al giorno e la somministrazione delle razioni avveniva con la tecnica dell'unifeed, composto da «8kg di fieno di medica, 3kg di fieno polifita, 2kg di medica disidratata, 4 kg di farina di mais, 2 kg di fiocchi di mais, 3kg di farina d'orzo, 2kg di crusca di frumento tenero e 2 kg di concentrato apportante 0,5 mg/kg di Selenio aggiunto sotto forma di selenito di sodio» (Pezzi e coll., 2004).

L'esperimento è stato articolato in tre fasi distinte: nel primo periodo, con una durata di tre settimane, gli animali sono stati alimentati seguendo la dieta precedentemente delineata. Nel secondo periodo, della durata di due settimane, la razione è stata formulata utilizzando lo stesso substrato alimentare di base, tuttavia, è stata esclusa l'aggiunta di Selenio. Infine, nella terza e conclusiva fase, che si è protratta per 15 settimane, i due chilogrammi di medica disidratata sono stati sostituiti da due chilogrammi di medica disidratata precedentemente arricchita di Selenio tramite un processo di concimazione fogliare eseguito 20 giorni prima della raccolta.

In tutte le fasi dell'esperimento, le quantità di Selenio fornite erano sufficienti per coprire i fabbisogni giornalieri delle bovine. Tuttavia, come intenzione dell'indagine, si è osservato che la quantità maggiore di Selenio è stata registrata nell'alimentazione con la medica disidratata arricchita. Infatti, in base all'analisi dei risultati ottenuti, il tenore di Selenio nelle mediche disidratate sottoposte a concimazione fogliare è risultato essere quasi cinque volte superiore rispetto a quello delle mediche non trattate.

L'integrazione con il Selenio organico ha evidenziato un aumento significativo dei livelli di Selenio sia nel sangue che nel colostro, e successivamente nel latte delle bovine. I dati ottenuti indicano una variazione significativa nel tenore di Selenio presente nel latte. Inizialmente, nel

secondo periodo sperimentale, si è riscontrata una diminuzione da 0.0284 a 0.0262 mg/l. Successivamente, nel periodo conclusivo dell'esperimento, si è osservato un incremento che ha portato il contenuto di Selenio a 0.0367 mg/l.

Le proprietà immunomodulanti e antiossidanti del Selenio conferiscono notevoli vantaggi agli organismi animali. Tra i vari composti antiossidanti, il Selenio riveste un'importanza notevole poiché costituisce parte integrante di vari enzimi, tra cui la glutatione-perossidasi, un enzima presente nel citoplasma e nei mitocondri, coinvolto nella sintesi di selenoproteine il cui livello di espressione è regolato da specifici geni e ormoni.

La glutatione-perossidasi, insieme ad altri enzimi, come la tioredossina riduttasi, rappresenta uno dei principali antiossidanti contenenti Selenio che si trovano in abbondanza nella ghiandola mammaria. La sua funzione principale consiste nell'eliminare radicali liberi particolarmente dannosi, come il perossido d'idrogeno e i lipo-perossidi.

Il Selenio in forma inorganica, come il selenito (selenito di sodio), viene assorbito passivamente dall'intestino e l'eccesso viene eliminata attraverso le feci e le urine. Al contrario, alcune forme organiche del Selenio, come la selenometionina (dove il Selenio sostituisce lo zolfo), vengono assorbite attivamente sfruttando meccanismi simili a quelli degli amminoacidi e si accumulano nei muscoli, contribuendo a incrementarne le riserve. Queste riserve si rivelano particolarmente utili in situazioni di stress, come nel periodo post-parto delle bovine da latte, quando aumentano le richieste metaboliche e diminuisce la capacità di assunzione di nutrienti da parte degli animali.

Nel contesto della ghiandola mammaria, il Selenio favorisce l'attivazione della glutatione-perossidasi citoplasmatica, un enzima considerato di emergenza in grado di prevenire danni legati allo stress ossidativo, come le mastiti. La glutatione-perossidasi è coinvolta in importanti processi fisiologici, tra cui la differenziazione cellulare, la trasduzione di segnali e la regolazione della produzione di citochine pro-infiammatorie, considerate tra i principali fattori scatenanti dello "stress da malattia".

Nelle bovine da latte, è stato dimostrato che l'incremento dell'apporto di Selenio nella dieta influisce positivamente sul suo contenuto nel colostro e successivamente nel latte. Inoltre, il livello di Selenio nel sangue delle madri ha un impatto diretto sui livelli sierici del nascituro. In aggiunta, l'integrazione della dieta con Selenio sembra ridurre la frequenza di problematiche ginecologiche post-partum, come ritenzione della placenta e presenza di cisti ovariche (Pezzi et al., 2004).

CAPITOLO III

Eccessi e carenze di Selenio sulla Riproduzione

3.1. La riproduzione delle vacche da latte

La riproduzione è una fase molto delicata per le bovine da latte essendo condizione strettamente necessaria per la produzione del latte. In ogni allevamento è necessario far sì che le bovine possano godere di un'ottima fertilità. La riproduzione è regolata da una serie di ormoni secreti a livello del sistema nervoso centrale e dell'apparato riproduttore che controllano le varie fasi della riproduzione: dalla pubertà, al ciclo estrale, il concepimento, la gravidanza ed il parto.

3.1.1. Pubertà

Nella specie bovina la pubertà rappresenta il momento in cui l'apparato riproduttore completa il proprio sviluppo; per le manze corrisponde all'inizio dell'attività ciclica ovarica con la manifestazione del primo calore, mentre per il vitello corrisponde alla produzione di spermatozoi. Il raggiungimento della pubertà è influenzato dal sesso, dalla razza, dalla specie dall'ambiente di allevamento e dai piani alimentari. Le bovine raggiungono la pubertà prima rispetto ai maschi; tra le razze sono più precoci quelle da latte rispetto a quelle da carne; infatti, *«le manze Frisone e Brune manifestano i primi calori all'età di 8-10 mesi, le Pezzate rosse a 10-12 mesi e le femmine da carne tra i 12 e i 16 mesi»* (Bittante e coll., 2005).

Un ulteriore elemento che incide sulla pubertà del bestiame riguarda le pratiche alimentari. Diete carenti che non soddisfano i fabbisogni nutritivi degli animali – ritardando così la loro crescita – comportano un ritardo nel raggiungimento della pubertà. Lo stesso può avvenire nel caso in cui alle bovine vengano somministrate diete troppo energetiche che porterebbero a una crescita eccessiva del grasso intermuscolare, formando così depositi adiposi in eccesso che compromettono in particolar modo l'attività delle ovaie.

L'emergere della pubertà in un animale può essere influenzato anche dall'ambiente di allevamento. Per far sì che un animale produca latte e sia fertile, è necessario che si trovi in una condizione di benessere, ovvero non sia sottoposto a condizioni di paura o stress, motivo per cui all'interno di un allevamento è necessario garantire all'animale di rapportarsi con gli altri soggetti cercando di evitare situazioni che porterebbero aggressività all'interno della mandria e garantendogli ciò di cui ha bisogno così da non ostacolare i suoi normali comportamenti. L'allevatore può evitare il verificarsi di situazioni negative attraverso degli interventi dal punto di vista strutturale, garantendo un numero di abbeveratoi adeguato per il numero delle bovine presenti, la costante presenza di unifeed in mangiatoia, e l'introduzione di sistemi di raffrescamento per limitare lo stress da caldo. Situazioni di stress, infatti, comprometterebbero la crescita dell'animale posticipando così il raggiungimento della pubertà alla manza.

3.1.2. *Ciclo Estrale*

Una volta raggiunta la pubertà, e dunque la maturità sessuale, le femmine mostrano un ciclo riproduttivo ciclico, che, in condizioni ambientali e alimentari ideali, è caratterizzato da periodi di estro regolari.

Le bovine sono animali poliestrali annuali, ovvero possono manifestare cicli riproduttivi multipli durante l'arco di un singolo anno (che si ripetono in modo regolare ogni anno). Le vacche in media ogni 20-21 giorni completano il processo di maturazione di un ovulo, con conseguenti modificazioni dell'apparato riproduttore.

Il ciclo estrale della bovina è suddiviso in due fasi – la fase follicolare e la fase progestativa o luteinica) – che a loro volta sono caratterizzate da quattro sottofasi che variano per durata e processo: proestro, estro, metaestro e diestro. Ognuna di queste fasi è caratterizzata e controllata da numerosi ormoni che vengono rilasciati grazie alla comunicazione degli organi del sistema nervoso centrale (tramite il complesso ipotalamo-ipofisiario) e dell'apparato riproduttore (ovaio e utero).

La fase follicolare si divide in proestro ed estro. In questa fase l'ovaio va incontro a «maturazione dei follicoli, ovulazione e formazione di un corpo emorragico nella sede di ogni follicolo scoppiato» (Bortolami e coll., 2018). La secrezione degli ormoni, ovvero le gonadotropine, è ad opera del sistema asse ipotalamo-adenipofisi-gonadi. L'ipotalamo rilascia l'ormone GnRH (ormone rilasciante le gonadotropine) il quale stimola l'adenipofisi (ipofisi anteriore) a produrre l'ormone FSH (ormone follicolo stimolante) e l'ormone LH (ormone luteinizzante) che inducono le ovaie a produrre estrogeni e progesterone, nonché ormoni steroidei che sono responsabili delle manifestazioni esteriori dei calori.

Il proestro dura dai 3 ai 4 giorni in cui si ha la maturazione di un follicolo e l'aumento degli estrogeni in circolo. L'estro (o calore), che segue il proestro e dura dalle 12 alle 18 ore, è la fase in cui la vacca è sessualmente predisposta e può essere fecondata. Vengono stimulate alte concentrazioni di estrogeni nel sangue che causano anche un picco dell'ormone LH, che permette l'ovulazione con la rottura del follicolo dominante e dunque la conseguente uscita dell'oocita maturo che va incontro alla fecondazione.

In questa fase, la bovina manifesta comportamenti specifici volti a richiamare l'attenzione del maschio o a segnalare all'allevatore che è il momento opportuno per effettuare la copula o l'inseminazione. Questi comportamenti comprendono l'aumento dell'attività motoria³, la volontà di montare altre vacche, l'intensificazione delle vocalizzazioni oppure la maggiore interazione con i maschi della mandria se presenti. Il riconoscimento del calore è di fondamentale importanza perché può andare a influenzare la fertilità della vacca, oltre ad essere utile per programmare la riproduzione assistita.

La fase luteinica o progestativa dura 17-18 giorni ed è suddivisa in altre due fasi: metaestro (2-3 giorni) e diestro (14-15 giorni). È caratterizzata dall'attività dei corpi lutei secernenti progesterone, il quale agisce a livello di ipotalamo come feedback negativo, ostacolando il rilascio di gonadotropine FSH ed LH da parte dell'ipofisi, impedendo così la maturazione e la rottura (scissione) di altri follicoli.

Giunti a questo stadio ci sono due possibili destini a cui il follicolo può andare incontro. Nel caso in cui l'animale non è stato accoppiato – o l'accoppiamento non ha portato fecondazione – *«l'utero secerne una luteolisina (Prostaglandina F₂α) che provoca la regressione dei corpi lutei e arresta la secrezione di progesterone»* (Bortolami e coll., 2018), dunque inizierà un nuovo ciclo. Se invece l'accoppiamento e la fecondazione sono andate a buon fine, vi è la discesa dell'ovulo in ovidotto, dove viene fecondato e forma un corpo luteo che continuerà a secernere progesterone e resteranno attivi per tutta la durata della gravidanza, in modo tale da impedire ad altri follicoli di raggiungere maturazione completa.

Durante il metaestro avviene anche la produzione del latte uterino, una sostanza densa e viscosa che contribuisce allo sviluppo dell'embrione e favorisce la chiusura della cervice.

³ motivo per cui un calore può essere rilevato anche mediante podometri, misuratori di passi dell'animale, che aumentando la frequenza possono indicare l'entrata in calore dell'animale

3.1.3. Inseminazione e concepimento

La fecondazione è il procedimento mediante il quale un ovulo e uno spermatozoo si incontrano, confluendo i loro nuclei e il corrispondente materiale genetico. Comunemente, tale incontro ha luogo nel terzo superiore⁴ di uno degli ovidotti, ovvero all'interno delle tube di Falloppio. La fecondazione risulta riuscita quando si verifica una precisa sincronizzazione tra l'ovulazione (intesa come il rilascio dell'ovulo) e l'inseminazione, ossia l'introduzione dello sperma nelle vie genitali femminili. La sincronizzazione tra ovulazione e inseminazione è fondamentale perché avvenga la fecondazione, poiché l'ovulo riesce a raggiungere il terzo superiore dell'ovidotto dopo sei ore dall'ovulazione e ha una durata massima di sopravvivenza tra le 8-12 ore, mentre lo spermatozoo ha una sopravvivenza massima di 40 ore in condizioni ottimali. È quindi fondamentale prestare attenzione alla scelta del momento dell'inseminazione per aumentare le probabilità di fecondazione, dove «*L'intervallo ottimale per effettuare l'inseminazione va dalle 8 alle 24 ore dall'inizio del calore*» (Bittante e coll., 2005).

L'inseminazione può essere di due tipi: naturale, con deposizione del seme nella parte anteriore della vagina da parte della verga del toro, o artificiale, in cui una dose di seme viene depositata nella cervice attraverso una apposita siringa. «*L'inseminazione artificiale consiste in un'operazione eseguita con apposite strumentazioni allo scopo di indurre del materiale seminale nell'apparato riproduttore femminile senza ricorrere all'impiego diretto di soggetti maschi*» (Bittante e coll., 2005).

Negli ultimi anni l'inseminazione artificiale è diventata la tecnica di più largo impiego, soprattutto negli allevamenti altamente produttivi di vacche da latte, poiché più efficace e vantaggiosa della naturale, dal punto di vista economico, di miglioramento genetico e della sanità (evita il proliferare di malattie veneree-sessualmente trasmissibili perché non avviene la penetrazione dello stesso toro con più vacche). La fecondazione artificiale offre numerosi vantaggi. Prima di tutto, consente di selezionare il toro ideale per l'accoppiamento attraverso il miglioramento genetico, riducendo così il grado di parentela tra le bovine. Questo metodo riduce anche il rischio di avere una prole con malattie indesiderate. Inoltre, la qualità del seme è garantita grazie al *progeny test*, una valutazione del toro prima che il suo seme venga commercializzato. L'uso della fecondazione artificiale impedisce la diffusione di malattie

⁴ All'interno delle tube di Falloppio sono presenti degli ovidotti, due sottili tubi che collegano ciascun ovario all'utero. L'ovidotto è suddiviso in tre parti: il terzo prossimale che si trova più vicino all'utero, il terzo medio e il terzo distale situato più vicino all'ovaio.

sessuali e riduce i problemi durante il parto. Ciò è possibile grazie alla possibilità di selezionare il seme del toro in base alle caratteristiche desiderate per i suoi discendenti. Questi vantaggi rendono la fecondazione artificiale un metodo sicuro ed efficiente per ottenere soggetti produttivi e riproduttivi più sani (Agrizootecnica, 2019).

3.1.4. Gravidanza e parto

Dopo la fecondazione dell'ovulo, si verifica un processo di divisioni cellulari che si susseguono nelle successive 70 ore. Questo processo guida l'ovulo a raggiungere l'utero, dove rimane immerso nel latte uterino (prodotto dall'utero stesso) per circa 8 giorni. Successivamente, l'ovulo si annida nella tonaca interna dell'utero, chiamata endometrio. A partire dalla divisione mitotica, che porta a formare fino a 16 cellule, si sviluppa la morula. Attraverso ulteriori divisioni cellulari, quando si raggiungono le 32 cellule, si formano i blastocisti. Oltre questa fase, si entra nello stadio embrionale, caratterizzato dallo sviluppo e dall'accrescimento degli organi e dei tessuti del feto. Inizialmente, i blastocisti sono un insieme di cellule, ma crescendo, sviluppano una cavità chiamata blastocele, la cui dimensione aumenta progressivamente. Le cellule residue all'interno dei blastocisti assumono il nome di nodo embrionale, il quale, insieme al blastocele, contribuirà alla formazione del feto. Le cellule periferiche che circondano il blastocele sono chiamate trofoblasti e saranno responsabili della formazione della placenta.

La placenta rappresenta la connessione vitale tra madre e feto, consentendo lo scambio di ossigeno e nutrienti al feto, oltre alla rimozione dei cataboliti e alla sintesi degli ormoni. Nella specie bovina, la placenta è epiteliocoriale con forma cotiledonare, e al suo interno avviene il trasferimento di ossigeno, anidride carbonica, ormoni steroidei, glucosio (la principale fonte di energia per il feto), calcio e vitamine idrosolubili. Gli ormoni steroidei prodotti all'interno della placenta delle bovine includono il progesterone, gli estrogeni, l'ormone lattogeno placentare, la relaxina e la prostaglandina F_{2α} placentare.

Il progesterone, prodotto dal corpo luteo, è essenziale per mantenere la gravidanza, creando un ambiente uterino favorevole. Gli estrogeni hanno un ruolo simile nel sostegno della gravidanza. L'ormone lattogeno placentare stimola la crescita delle ghiandole mammarie, preparandole per la produzione di latte dopo il parto. La relaxina regola il processo del parto, influenzando le contrazioni muscolari uterine e facilitando il travaglio. La prostaglandina F_{2α} (PGF_{2α}) è coinvolta nell'induzione del parto e nell'espulsione della placenta dopo il parto.

La gestazione nelle bovine dura circa 280 giorni, ma questa durata può variare in base alla razza dei genitori, al sesso del feto, al numero di feti per gestazione e a fattori ambientali. La gravidanza termina con il parto, processo di espulsione del feto dal corpo materno, anche questo promosso e regolato da una serie di stimoli di tipo endocrino, nervoso e meccanico.

Il parto è innescato dal cortisolo fetale, un ormone prodotto dal feto a causa dello stress fetale. Questo porta a una conversione del progesterone in estrogeni, riducendo la produzione di progesterone e aumentando quella degli estrogeni. Ciò comporta: un aumento dell'attività del miometrio, la produzione di muco da parte delle cellule ghiandolari della cervice e della vagina, il distacco del tappo mucoso, la sintesi delle prostaglandine placentari. Queste ultime a loro volta causano contrazioni dell'utero e dilatazione della cervice, favorendo la luteolisi. Tutti questi processi preparano l'utero per l'espulsione sicura del feto durante il parto.

Gli estrogeni, in concomitanza con i segnali provenienti dalla cervice e dalla vagina – sottoposte a considerevoli pressioni esercitate dal feto – stimolano la produzione di ossitocina da parte dell'ipofisi posteriore. Il feto contribuisce alla circolazione materna introducendo corticosteroidi, i quali favoriscono la produzione di estrogeni e progesterone.

Tutte queste modificazioni ormonali mettono in evidenza i segnali premonitori del parto che un allevatore deve riconoscere, come il rilassamento dei legamenti sacro-ischiatici, l'ingrossamento della vulva, la fuoriuscita di un liquido trasparente, viscoso e filante dalla vulva e il gonfiore e rossore della vagina. Inoltre, poco prima del momento del parto, le vacche diventano molto irrequiete, coricandosi per poi rialzarsi poco dopo, e mostrano un aumento della frequenza di defecazione e minzione.

Sotto l'influenza dell'ossitocina, si avviano le contrazioni preparatorie che hanno lo scopo di dilatare il collo dell'utero e posizionare correttamente il vitello per agevolare l'espulsione.

In questa fase, il sacco fetale si spinge nella vagina, contribuendo alla dilatazione del canale del parto, ossia il passaggio di uscita del feto.

La rottura delle membrane fetali avviene generalmente in modo spontaneo quando il feto entra nel canale del parto e le estremità distali degli arti anteriori compaiono all'esterno. Seguono quindi le doglie, cioè contrazioni di espulsione, che diventano sempre più intense e frequenti, accompagnate dalla contemporanea contrazione di tutti i muscoli addominali.

Questa fase è particolarmente critica, poiché se si verificano ostacoli durante l'espulsione del feto, il vitello corre il rischio di asfissia a causa della compressione del cordone ombelicale tra il suo corpo e il bacino della vacca. Pertanto, potrebbe essere necessario intervenire spingendo delicatamente il vitello all'interno per sfruttare nuove contrazioni o applicando una trazione controllata.

Il parto si conclude con l'espulsione della placenta, detta anche secondamento, che di solito avviene circa 4-5 ore dopo la nascita del vitello. Questo costituisce uno dei momenti più critici nella vita della bovina da latte, in cui possono sorgere numerose complicazioni. L'allevatore deve essere preparato ad intervenire in base alla gravità della situazione che si presenta, affinché il parto avvenga nel modo più sicuro e controllato possibile.

3.2. Il ruolo del Selenio nella riproduzione delle vacche

Come già discusso in precedenza, i minerali svolgono un ruolo essenziale come componenti strutturali nell'organismo. Essi sono coinvolti nell'attivazione degli enzimi, nell'equilibrio degli ormoni, nella composizione dei fluidi corporei, nei tessuti e nella regolazione della replicazione e della differenziazione cellulare. L'assenza, gli squilibri o l'eccesso di specifici minerali possono causare disturbi nella riproduzione delle vacche da latte, in quanto influenzano in modo significativo la loro salute e la loro capacità riproduttiva. Dopo l'energia e le proteine, i minerali rappresentano un gruppo di nutrienti di fondamentale importanza e dovrebbero ricevere una considerevole attenzione per massimizzare la riproduzione nelle bovine (Velladurai e coll., 2016). Tuttavia, la gestione precisa di questi componenti costituisce una sfida complessa: quando ci si impegna a garantire che le bovine ricevano un'adeguata quantità di minerali, è di vitale importanza considerare sia i macro che i microminerali. In particolare, va dato rilievo agli antiossidanti come la vitamina A, la vitamina E, il rame, lo zinco, il manganese e il Selenio. È ben noto che lo stress ossidativo può causare danni significativi durante le fasi di transizione e nelle prime fasi della lattazione. Pertanto, garantire una fornitura adeguata di questi nutrienti è cruciale per sostenere la salute e la produttività del bestiame. Nel processo di formulazione delle diete delle vacche, è consigliabile adottare approcci basati su "livelli di sicurezza" al fine di ridurre i rischi legati alla somministrazione di quantità insufficienti di minerali e vitamine biodisponibili. Tuttavia, è altrettanto importante evitare l'eccesso, in quanto ciò potrebbe comportare costi alimentari eccessivi, effetti negativi sulla salute degli animali e impatti ambientali indesiderati.

3.2.1. Effetti della carenza di Selenio sulla riproduzione

Il Selenio è un minerale cruciale durante la gestazione e il periodo post-partum delle vacche da latte, influenzando in modo significativo la loro fertilità e capacità riproduttiva. La mancanza

di Selenio nella dieta delle bovine può portare a gravi danni alla madre e complicazioni durante la gravidanza, fino a mettere a rischio la vita del feto.

Come già accennato in precedenza, il Selenio riveste un ruolo fondamentale come antiossidante. Questo minerale è anche essenziale per preservare la salute riproduttiva delle vacche, poiché le selenoproteine svolgono un ruolo cruciale nell'azione antiossidante e promuovono la crescita sana dei follicoli (Mehdi e Dufrasne, 2016). Una carenza di Selenio nell'alimentazione può condurre a una riduzione dell'estro o a uno stato di estro irregolare (Velladurai e coll., 2016). Questo fenomeno può generare problematiche significative nella riproduzione, in quanto complica l'individuazione del periodo ottimale per la fecondazione, incide negativamente sulla produzione di latte e può provocare stress nell'animale, compromettendo il suo benessere complessivo.

Inoltre, la carenza di Selenio rischia di promuovere la manifestazione di cisti ovariche, mastiti, metriti e ritenzione della placenta. Le cisti ovariche rappresentano una delle condizioni patologiche più comuni storicamente riscontrate negli allevamenti di bovine da latte ad alta produzione, causate da un'alterazione neuroendocrina nell'asse ipotalamo-ipofisi-ovaio. Si definisce "ciste ovarica" la presenza di una formazione cistica con un diametro superiore a 25 mm su una o entrambe le ovaie, in assenza di un corpo luteo, e che persiste per più di 10 giorni. Le cisti ovariche non rappresentano strutture statiche, poiché hanno la capacità di persistere, sottoporsi a luteinizzazione o degenerare in strutture atresiche⁵ (Ruminantia, 2016). È importante sottolineare che, dal punto di vista pratico, non vengono considerate patologiche le cisti che sono accompagnate da un corpo luteo attivo o che presentano una parete così spessa da far presumere la presenza di tessuto luteinico sufficiente a mantenere la progesteronemia al di sopra di 0,5 ng/ml. Queste ultime formazioni vengono identificate come "cisti luteiniche" e "corpi lutei cavitari". Diverso è il caso della "ciste follicolare", che si caratterizza per una parete sottile e un profilo ormonale patogenetico peculiare, manifestandosi attraverso una serie di sintomi clinici vari. La maggior parte delle cisti follicolari non mostra alcun segno clinico (anaestro, fase nella quale non si verificano segni di preparazione dell'ovaia per l'ovulazione: fase di inattività ovarica), mentre una minoranza presenta alterazioni nel comportamento estrale, determinando cicli estrali irregolari fino alla ninfomania (caso in cui le vacche sono sempre in calore).

⁵ Follicolo atresico: follicolo ovarico di cui non si è verificata la rottura per arresto del processo di maturazione.

L'assenza di un picco pre-ovulatorio di ormone luteinizzante (LH) impedisce l'ovulazione del follicolo di Graaf, che, crescendo in dimensioni, si trasforma in una cisti (Spagnolo, 2020).

Le ovaie presentano un minimo sviluppo follicolare e dimensioni ridotte, risultando in una produzione limitata di estradiolo. Questa situazione conduce all'assenza di ovulazione e di comportamento estrale. La piena funzionalità del fegato, essendo responsabile della produzione di IGF-1 e colesterolo, che sono precursori degli ormoni steroidei, è di cruciale importanza. Le bovine affette da lipidosi epatica, anche di grado moderato, registrano una diminuzione nella produzione di colesterolo e IGF-1, con conseguenze estremamente negative sullo sviluppo follicolare e sulla capacità di ovulare e manifestare un comportamento estrale adeguato. A differenza dell'anaestro post partum, le cisti ovariche possono formarsi in qualsiasi fase della lattazione a causa dell'alterazione nel feedback positivo tra estradiolo e GnRH. In questa fase, lo stress rappresenta un fattore di rischio significativo, oltre al disagio comportamentale (Ruminantia, 2016).

La metrite è una condizione infiammatoria dell'utero delle bovine, nonché un'infiammazione dell'endometrio, che è lo strato interno dell'utero. La metrite può verificarsi principalmente durante il periodo post-partum, ossia nei primi 20 giorni dopo il parto, con maggiore incidenza nei primi 10 giorni dopo il parto e può essere classificata in diverse forme in base alla gravità dell'infiammazione e ai sintomi associati. La Metrite di Grado I o "Metrite Clinica" è caratterizzata da un utero che si involge in maniera insufficiente e da secrezioni vaginali purulente⁶, senza la presenza di altri segni evidenti di malattia. La Metrite di Grado II o "Metrite Puerperale" rappresenta una condizione in cui l'utero è scarsamente involuto, vi sono perdite vaginali acquose con colorazione rosso-bruna e un odore sgradevole, accompagnate da segni clinici quali febbre (superiore a 39,5°C), depressione e una diminuzione nella produzione di latte. Infine, la Metrite di Grado III o "Metrite Settica" denota un'evoluzione avanzata della metrite puerperale, con chiari segni di shock settico come ipotermia, posizione in decubito prolungato, inappetenza, e altri sintomi gravi.

La ritenzione della placenta nelle vacche da latte è una delle malattie metaboliche, ovvero patologie causate da un'alterazione del metabolismo. Di solito, la placenta viene espulsa entro 6 ore dal parto. Tuttavia, la ritenzione di placenta viene comunemente definita quando la placenta non viene espulsa entro 12 ore, sebbene possa verificarsi una variazione fisiologica se

⁶ Secrezioni bianco-giallastre che contengono pus, che è una miscela di cellule morte, batteri e tessuto infiammato

ciò accade entro le 12-24 ore. Questa condizione può causare gravi danni alle bovine, aumentando il rischio di metriti puerperali, endometriti, chetosi e mastiti. Le bovine che soffrono di ritenzione della placenta possono presentare un'insufficiente involuzione uterina, un prolungamento dell'intervallo tra il parto e il primo servizio⁷ (di circa 2-3 giorni), un aumento del numero di concepimenti per gravidanza e un allungamento dell'intervallo tra il parto e il concepimento (di circa 6-12 giorni).

In situazioni particolarmente gravi, la carenza di Selenio può innescare una serie di complicazioni che influiscono negativamente sia sullo sviluppo fetale che sulla salute delle femmine gravide. Tale carenza può manifestarsi con gravi esiti, tra cui la ritenzione delle membrane fetali, la morte embrionale precoce, parti difficili o la nascita di vitelli deboli, e persino aborti nelle femmine (Velladurai e coll., 2016). La ritenzione delle membrane fetali, fenomeno che si verifica quando le membrane fetali, solitamente espulse dal corpo dopo il parto, non vengono eliminate in modo adeguato. Tale complicazione può provocare gravi problemi di salute sia per la madre che per il feto. La morte embrionale precoce rappresenta la condizione in cui gli embrioni non riescono a svilupparsi in modo appropriato e giungono al termine della loro esistenza prima di raggiungere lo stato fetale.

La carenza di Selenio può altresì influire negativamente sul processo di parto, portando a parti difficili, caratterizzati da complessità e problematiche significative. Questo può generare rischi sia per la madre che per i vitelli, comportando stress e complicazioni durante il travaglio. Inoltre, quando i vitelli nascono, possono risultare deboli a causa della mancanza di Selenio nelle madri. Questi vitelli deboli potrebbero non essere in grado di reggersi in piedi o di essere allattati correttamente, con conseguenze che mettono a serio rischio la loro sopravvivenza e la loro salute generale.

3.2.2. Effetti dell'eccesso di Selenio nella riproduzione

Così come la carenza, anche l'eccesso di Selenio può avere gravi conseguenze sulla salute riproduttiva delle vacche. Entrambe le condizioni espongono questi animali a una serie di problematiche simili. L'eccesso di Selenio, così come la sua mancanza, può innescare disturbi nell'estro, come estri silenziosi o irregolari (Randhawa e Randhawa, 1994), oltre a causare la formazione di cisti ovariche. Queste condizioni perturbano il ciclo riproduttivo delle femmine bovine e ostacolano la possibilità di concepire. Inoltre, sia la carenza che l'eccesso di Selenio

⁷ Intervallo tra il parto e il primo tentativo di fecondazione della vacca si prolunga di 2-3 giorni

possono portare alla ritenzione delle membrane fetali, un problema che comporta rischi per la salute delle madri e la ripetizione di complicazioni riproduttive in gravidanze successive. Entrambe le condizioni sono associate alla morte embrionale precoce, impedendo il pieno sviluppo del feto.

L'eccesso di Selenio, in particolare, è noto per causare aborti, nati morti e la nascita di vitelli deboli e letargici (Patterson et al., 2003). Questi effetti tossici si verificano poiché l'eccesso di Selenio può danneggiare le cellule e interferire con il normale sviluppo fetale. In primo luogo, l'eccesso di Selenio può provocare danni alle cellule del corpo, in particolare alle cellule dei tessuti riproduttivi. Questo danneggiamento cellulare può compromettere la funzionalità degli organi riproduttivi, causando difficoltà nel concepimento e nell'ulteriore sviluppo dei feti. Le cellule colpite dal Selenio in eccesso possono subire stress ossidativo e danni al DNA, compromettendo la loro capacità di svolgere le normali funzioni biologiche. Inoltre, il Selenio è coinvolto nella regolazione di vari processi fisiologici, tra cui il corretto sviluppo fetale. Un eccesso di Selenio può interferire con questi processi di sviluppo, portando a gravi deformità e ritardi nello sviluppo del feto. Questo può portare a vitelli nati con gravi deficit fisici e neurologici, che li rendono deboli e letargici.

3.3. Impatto dell'integrazione di Vitamina E e Selenio sulle prestazioni riproduttive: uno studio coreano

Come si è potuto evincere fino a qui, le vacche sottoposte a diete carenti di vitamina E e Selenio manifestano un aumento delle malattie legate alla riproduzione. Si è dimostrato, infatti, che l'aggiunta di vitamina E e Selenio riduce i disturbi riproduttivi e le problematiche di salute, come la ritenzione della placenta e le mastiti. Tuttavia, altre ricerche hanno indicato che il tasso di ritenzione della placenta, le prestazioni riproduttive e l'incidenza di mastiti nelle vacche non sono influenzati solo dalla supplementazione di Selenio.

Per affrontare questo dibattito, nel 1997, il *National Livestock Research Institute* - RDA della Repubblica della Corea ha condotto uno studio sulle capacità riproduttive delle vacche da latte attraverso la somministrazione di Selenio e vitamina E. In particolare, lo studio ha esaminato una delle conseguenze negative più significative legate alla carenza di Selenio, ovvero la ritenzione della placenta (Kim e coll., 1997).

Gli sperimentatori avevano tre obiettivi principali:

1. Valutare l'effetto della stagione sulla ritenzione della placenta.
2. Monitorare le variazioni dei livelli di Selenio nel plasma sanguigno.
3. Analizzare l'impatto della somministrazione prepartum di Selenio e vitamina E sulle prestazioni riproduttive postpartum⁸.

L'esperimento ha coinvolto 120 vacche da latte della razza Holstein, suddivise in quattro gruppi, ognuno composto da 30 animali. Il primo gruppo fungeva da gruppo di controllo, il secondo riceveva vitamina E (500 UI), il terzo Selenio (4 mg) e l'ultimo gruppo riceveva sia Selenio (4 mg) che vitamina E (500 UI). Tutte le vacche da latte seguivano la stessa dieta durante il periodo di asciutta, con accesso costante ad acqua e sali minerali. La vitamina E ed il Selenio sono stati iniettati per via intramuscolare 20 giorni prima del parto previsto. Dopo il parto, l'alimentazione è stata adattata in base alla produzione di latte.

L'incidenza della ritenzione della placenta è stata osservata in media entro 6 ore dopo il parto, con una percentuale media di ritenzione del 22,5% (27 su 120).

Nelle diverse categorie di gruppi, l'incidenza di placenta ritenuta è stata la seguente:

- Gruppo di controllo: 30%
- Gruppo con vitamina E: 27%
- Gruppo con Selenio: 20%
- Gruppo con entrambi Selenio e vitamina E: 13%

Dallo studio è emerso che l'incidenza della ritenzione della placenta non è diminuita quando è stato iniettato solo Selenio o solo vitamina E, ma si è ridotta in modo significativo quando sono stati somministrati entrambi. La combinazione di vitamina E e Selenio è dunque spesso utilizzata per migliorare la salute delle vacche da latte a causa del loro effetto sinergico nel supportare il sistema immunitario, prevenire alcune malattie e migliorare la riproduzione.

La vitamina E e il Selenio agiscono come antiossidanti nel corpo delle vacche. La vitamina E protegge le cellule dai danni causati dai radicali liberi, contribuendo a mantenere il sistema immunitario sano e riducendo l'infiammazione. Il Selenio, invece, è un componente critico del glutathione perossidasi, che neutralizza i radicali liberi e previene il danno cellulare. Inoltre,

⁸ In questo contesto, verranno presentati solo i dettagli risultati in merito all'effetto della somministrazione di vitamina E e Selenio.

come supportato dallo studio qui trattato, la combinazione di vitamina E e Selenio può migliorare la salute riproduttiva delle vacche. La carenza di questi nutrienti è stata associata a una maggiore incidenza di ritenzione della placenta e altri disturbi riproduttivi e malattie correlate alla riproduzione. Infine, la vitamina E e il Selenio svolgono ruoli cruciali nella salute generale delle vacche, supportando il loro sistema immunitario e contribuendo a prevenire malattie e problemi di salute.

CONCLUSIONI

Il Selenio è riconosciuto come un elemento essenziale e la sua carenza è stata associata ad una alterata crescita, fertilità e salute dei bovini. Il Selenio è anche un nutriente essenziale per la salute umana e recentemente numerosi studi hanno evidenziato la tendenza ad un calo della sua assunzione associato a una serie di gravi problemi di salute, tra cui una ridotta funzionalità immunitaria, cardiomiopatia, umore depresso e una maggiore incidenza di cancro (Rayman, 2000). Il consumo di latte prodotto da bovine alimentate in modo corretto per quanto riguarda il Selenio potrebbe essere una interessante fonte di integrazione del microelemento. Tutto questo ci fa capire quanto risulti indubbiamente vantaggioso utilizzare ed integrare le giuste quantità di Selenio nell'alimentazione delle vacche, poiché questo minerale svolge un ruolo essenziale nella loro salute e benessere, ma concorra anche a migliorare la qualità nutrizionale del loro latte.

Oggi la disponibilità del microelemento nelle diete può essere garantita sia attraverso una integrazione in forma inorganica (sodio-selenato e sodio-selenito) e sia attraverso quella organica attraverso colture di lieviti arricchiti in Selenio. La ricerca ha dimostrato come l'assorbimento del Selenio fornito in quest'ultima forma risulti molto più efficiente rispetto a quella della fonte inorganica.

Solo attraverso un equilibrio nutrizionale adeguato è possibile assicurare il corretto funzionamento dell'organismo della bovina da latte, promuovendone la fertilità, la produzione e la salute. La corretta gestione dell'alimentazione dei bovini è un elemento chiave per garantire il loro benessere, ma è anche uno strumento fondamentale per aumentare la sostenibilità dell'industria zootecnica. Il presente lavoro di tesi ha evidenziato come anche un microelemento come il Selenio possa giocare un ruolo chiave in questo contesto e debba essere monitorato con grande attenzione e puntualità.

BIBLIOGRAFIA

- Agricole Forte (n.d.). *Vacche da latte*. Consultabile da <https://www.agricoleforte.com/vacche-da-latte>
- Agrizootecnia (2019). *La riproduzione nel bovino da latte*. Consultabile da: https://agrizootecnia.altervista.org/la-riproduzione-nel-bovino-da-latte/?doing_wp_cron=1698850993.9467730522155761718750
- Avellini L., (2016). *Lo stress ossidativo nella bovina da latte*. Scaricabile da <https://spvet.it/archivio/numero-96/documenti/635.pdf>
- Bittante G., Andrighetto I., Ramanzin M. (2005) *Tecniche di produzione animale*. Liviana. Novara..
- Bittante G., Andrighetto I., Ramanzin M. *Tecniche di produzione animale*. Liviana. Novara. 2005.
- Bortolami R., Callegari E., Clavenzani P., Beghelli V. (2018). *Anatomia e fisiologia degli animali domestici*. Edagricole, Milano.
- Buller, H., Blokhuis, H., Jensen, P., Keeling, L. (2018) *Towards farm animal welfare and sustainability*. *Animals*. 8:81. <https://doi.org/10.3390/ani8060081>
- Fantini A. (2013). *L'endocrinologia della produzione del latte*. Scaricabile da <https://www.ruminantia.it/wp-content/uploads/2016/05/LENDOCRINOLOGIA-DELLA-PRODUZIONE-DEL-LATTE.pdf>
- Fantini A. (2014). *Disordini minerali nella vacca e conseguenze da evitare*. Scaricabile da <https://www.ruminantia.it/wp-content/uploads/2016/05/DISORDINI-MINERALI-NELLA-VACCA-E-CONSEGUENZE-DA-EVITARE.pdf>
- Fantini A. (2019), *Il prezioso selenio*. Consultabile da <https://www.ruminantia.it/il-prezioso-selenio/>
- Fantini A., (2012), *Per ogni oligoelemento le «istruzioni per l'uso»*. Scaricabile da <https://www.ruminantia.it/wp-content/uploads/2016/05/PER-OGNI-OLIGOELEMENTO-LE-ISTRUZIONI-PER-LUSO.pdf>
- Formigoni A., (2022), *Integrazioni minerali le novità di Nrc 2021*. Consultabile da <https://informatorezootecnico.edagricole.it/bovini-da-latte/integrazioni-minerali-le-novita-di-nrc-2021/>
- Halliwell B., Gutteridge J. M. C. (2007). *Free Radicals in Biology and Medicine*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Holstein Foundation (n.d.). *Milking and Lactation*. Scaricabile da http://www.holsteinfoundation.org/pdf_doc/workbooks/Milking_Lactation_Workbook.pdf

- Juniper D.T., Phipps R.H., Jones A.K., Bertin G. (2006). *Selenium Supplementation of Lactating Dairy Cows: Effect on Selenium Concentration in Blood, Milk, Urine, and Feces*. Scaricabile da <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030206723943>
- Kim H. S., Lee J. M., Park S. B., Jeong S. G., Jung J. K. Im' K.S. (1997). *Effect of vitamin E and selenium administration on the reproductive performance in dairy cows*. Australasian Journal of Animal Science. 10: 308-312.
- Mehdi Y., Dufasne I., (2016). *Selenium in Cattle: A Review*. Consultabile da <https://www.mdpi.com/1420-3049/21/4/545>
- Mehdi Y., Dufasne I., (2016). *Selenium in Cattle: A Review*. *Molecules*. 21, 545.
- Nalon, E., Contiero, B., Gottardo, F., Cozzi, G. (2021) *The welfare of beef cattle in the scientific literature from 1990 to 2019: A text mining approach*. *Frontiers in Veterinary Science*. 7:588749. doi: 10.3389/fvets.2020.588749
- NRC, (2021), *Nutrient Requirements of Dairy Cattle* (NRC 2021- The National Academy Press, Washington, DC- www.nap.edu)
- Ohl, F., van der Staay, F.J. (2012) *Animal welfare: At the interface between science and society*. *The Veterinary Journal*. 192:13-19.
- Patterson H. H., Adams D. C., Klopfenstein T. J., Clark R. T., and Teichert B. (2003). *Supplementation to meet metabolizable protein requirements of primiparous beef heifers: II. Pregnancy and Economics*. *Journal of Animal Science*, Vol. 81, 503-570
- Pezzi P., Gramenzi A., Gianmarco M., Fusaro I., Formigoni A. (2004). *Trasferimento di selenio nel latte di bovine alimentate con medica disidratata arricchita*. *Atti della Società Italiana di Buiatria*
- Phibro Animal Health (2020). *La mastite nelle bovine da latte*. Consultabile da <https://europe.pahc.com/it/sfide/la-mastite>
- Pirondini M., (2014). *I microminerali nell'alimentazione della bovina da latte*. Consultabile da [https://ruminantiamese.ruminantia.it/i-microminerali-nellalimentazione-della-bovina-da-latte/#:~:text=Selenio%20\(Se\)&text=Alcuni%20autori%20hanno%20dimostrato%20che%20il%20Se%20%C3%A8%20un%20componente,la%20funzionalit%C3%A0%20del%20sistema%20immunitario](https://ruminantiamese.ruminantia.it/i-microminerali-nellalimentazione-della-bovina-da-latte/#:~:text=Selenio%20(Se)&text=Alcuni%20autori%20hanno%20dimostrato%20che%20il%20Se%20%C3%A8%20un%20componente,la%20funzionalit%C3%A0%20del%20sistema%20immunitario)
- Piva G., Pietri A., Confalonieri Prandini A., Morlacchini M, Marzoli A., (n.d.) Cobalto, selenio, iodio, manganese: considerazioni sull'impiego di questi oligoelementi in alimentazione animale. Scaricabile da https://www.assalzoo.it/wp-content/uploads/2017/09/55_Quaderno.pdf
- Randhawa S.S., Randhawa C.S. (1994). *Trace element imbalances as a cause of infertility in farm animals*. In: *Proceedings of ICAR summer school on Recent advances in animal reproduction and gynaecology*. Held at PAU, Ludhiana

- Ruminantia (2016). *La sindrome della sub-fertilità nella vacca da latte*. Consultabile da <https://www.ruminantia.it/wp-content/uploads/2016/05/LA-SINDROME-DELLA-SUB-FERTILITA-DELLA-VACCA-DA-LATTE-PARTE-5.pdf>
- Ruminantia (2021). *Moderati livelli di selenio organico nelle bovine da latte alimentate in modo naturale possono arricchire i prodotti lattiero-caseari?* Consultabile da <https://www.ruminantia.it/moderati-livelli-di-selenio-organico-nelle-bovine-da-latte-alimentate-in-modo-naturale-possono-aricchire-i-prodotti-lattiero-caseari/>
- Ruminantia (2022). *Esiste una correlazione tra i minerali della dieta e le mastiti nelle vacche da latte?* Consultabile da <https://www.ruminantia.it/esiste-una-correlazione-tra-i-minerali-della-dieta-e-le-mastiti-nelle-vacche-da-latte/>
- Shingoethe D.J., (2017) *A 100-Year Review: Total mixed ration feeding of dairy cows*. Journal of Dairy Science. 100:10143–10150.
- Spagnolo M. (2020). *I fattori di rischio delle cisti ovariche nella bovina*. Consultabile da <https://ruminantiamese.ruminantia.it/i-fattori-di-rischio-delle-cisti-ovariche-nella-bovina-da-latte/#:~:text=La%20ciste%20ovarica%20%C3%A8%20quindi,aumentando%20di%20dimensione%2C%20diventa%20cistico>
- ten Napel, J., van der Veen, A.A., Oosting, S.J., Koerkamp, P.W.G. (2011) *A conceptual approach to design livestock production systems for robustness to enhance sustainability*. Livestock Science. 139:150–160.
- The Cattle Site (2015). *Managing Cow Lactation Cycles*. Consultabile da <https://www.thecattlesite.com/articles/4248/managing-cow-lactation-cycles/#:~:text=The%20cycle%20is%20split%20into,through%20different%20stages%20of%20lactation>
- The National Academies of Sciences, Engineering and Medicine. *Nutrient requirements of dairy* Washington, National Academies. 2021. 8° edizione.
- Ullah H., Ullah Khan R., Tufarelli V., Laudadio V., (2020) *Selenium: An Essential Micronutrient for Sustainable Dairy Cows Production*. Consultabile da <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/24/10693>
- Velladurai C., Selvaraju M., Ezakial Napoleon R. (2016). *Effects of macro and micro minerals on reproduction in dairy cattle. A review*. International Journal of Scientific Research in Science and Technology. 2: 68-74.