



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse naturali e Ambiente  
Dipartimento di Biomedicina Comparata e Alimentazione

CORSO DI LAUREA IN SCIENZE E TECNOLOGIE ANIMALI

TESI DI LAUREA

## **NUTRIZIONE MINERALE NELLA VACCA DA LATTE: RUOLO DEI MACRO-ELEMENTI E DEL BILANCIO CATIONI : ANIONI (DCAD) DURANTE LE FASI DI ASCIUTTA E LATTAZIONE**

Mineral nutrition in dairy cow: role of macro-elements and Dietary  
Cation-Anion Difference (DCAD) during the dry and lactation phases

Relatrice:

Ch.ma Prof.ssa Bailoni Lucia

Correlatore:

Dott. Boldrin Pierantonio

Laureando:

Daniele Simionato

Matricola n. 2008742

ANNO ACCADEMICO 2022-2023



# INDICE

<b>RIASSUNTO</b> .....	4
<b>ABSTRACT</b> .....	5
<b>1. INTRODUZIONE</b> .....	6
<b>2. CENNI STORICI SULLA NUTRIZIONE MINERALE</b> .....	8
<b>3. I MACROMINERALI</b> .....	10
<b>3.1 IL CALCIO</b> .....	14
<b>3.1.1 L'IPOCALCEMIA</b> .....	15
<b>3.2 IL FOSFORO</b> .....	18
<b>3.2.1 L'IPOFOSFATEMIA</b> .....	19
<b>3.2.2 L'IPERFOSFATEMIA</b> .....	20
<b>3.3 IL MAGNESIO</b> .....	21
<b>3.3.1 L'IPOMAGNESIEMIA</b> .....	22
<b>3.4 IL POTASSIO</b> .....	23
<b>3.4.1 L'IPOKALIEMIA</b> .....	24
<b>3.4.2 L'IPERKALIEMIA</b> .....	24
<b>3.5 IL SODIO</b> .....	25
<b>3.6 IL CLORO</b> .....	26
<b>3.7 LO ZOLFO</b> .....	28
<b>4. I MICROMINERALI</b> .....	29
<b>4.1 LE PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEI MICROMINERALI</b> .....	30
<b>5. IL DCAD</b> .....	32
<b>5.0.1 ESEMPIO DI CALCOLO DEL DCAD</b> .....	33
<b>5.1 LA GESTIONE DEL DCAD IN ASCIUTTA</b> .....	34
<b>5.2 LA GESTIONE DEL DCAD IN LATTAZIONE</b> .....	36
<b>6. CONCLUSIONI</b> .....	38
<b>7. BIBLIOGRAFIA</b> .....	39
<b>SITOGRAFIA</b> .....	44

# RIASSUNTO

La nutrizione minerale è un aspetto cruciale nella gestione alimentare delle vacche da latte. Gli elementi minerali, nonostante la loro marginale presenza, sono necessari per una varietà di funzioni fisiologiche e metaboliche all'interno dell'organismo, contribuendo al mantenimento della salute generale, della produzione lattea e della riproduzione.

Questi minerali possono essere suddivisi in macro- e microelementi.

I macroelementi, che hanno fabbisogni esprimibili in grammi, includono calcio, fosforo, magnesio, potassio, sodio e zolfo. Il calcio e il fosforo, ad esempio, svolgono un ruolo fondamentale come costituenti del tessuto osseo e dei denti e nella contrazione muscolare. I macro-elementi sono molto importanti anche perché sono in grado di influenzare il pH del sangue grazie alla loro carica positiva (calcio, fosforo, magnesio, sodio e potassio) e negativa (cloro e zolfo). Per questo motivo alcuni macroelementi sono inseriti nelle formule di calcolo del DCAD.

I microelementi, con fabbisogni esprimibili in milligrammi o ppm, includono iodio, ferro, cobalto, manganese, molibdeno, zinco, selenio e rame. I microelementi sono soprattutto partecipati come costituenti di ormoni ed enzimi e svolgono funzioni regolatrici.

I minerali possono essere normalmente presenti negli alimenti base per vacche, ma talvolta può essere necessario un supplemento tramite l'uso di premiscele minerali a seconda dell'elemento carente. La dieta somministrata agli animali deve essere correttamente bilanciata per soddisfare i fabbisogni. Tuttavia, è importante evitare eccessi o carenze, poiché entrambi possono causare problemi di salute e impattare negativamente sulla produzione e sulla qualità del latte. Un piano alimentare bilanciato deve considerare vari fattori, tra cui l'età, il peso, la fase di lattazione e le condizioni di salute delle vacche.

Il DCAD (Dietary Cation-Anion Difference) è un concetto utilizzato nell'alimentazione delle vacche da latte per gestire l'equilibrio acido-base nel loro organismo. Si basa sulla differenza tra i cationi (soprattutto sodio e potassio) e gli anioni (cloro e zolfo). Gestire il livello di DCAD è importante a seconda della situazione di ogni vacca: una vacca in asciutta alimentata con una razione con basso DCAD diminuisce l'insorgenza dell'ipocalcemia; al contrario, in una vacca in lattazione, una razione ad alto livello di DCAD influenza positivamente la quantità e qualità del latte.

# ABSTRACT

Mineral nutrition is a crucial aspect in the dietary management of dairy cows. Mineral elements, despite their marginal presence, are necessary for a variety of physiological and metabolic functions within the body, contributing to the maintenance of general health, milk production and reproduction.

These minerals can be divided into macroelements and microelements.

The macroelements, whose requirements can be expressed in grams, include calcium, phosphorus, magnesium, potassium, sodium and sulphur. Calcium and phosphorus, for example, play a fundamental role as constituents of bone tissue and teeth and in muscle contraction. Macroelements are also very important because they are able to influence blood pH thanks to their positive (calcium, phosphorus, magnesium, sodium and potassium) and negative (chlorine and sulfur) charge. For this reason some macro-elements are included in the DCAD calculation formulas. Trace elements, with requirements expressed in milligrams or ppm, include iodine, iron, cobalt, manganese, molybdenum, zinc, selenium and copper. Microelements are mainly involved as constituents of hormones and enzymes and perform regulatory functions.

Minerals can normally be found in staple feeds for cows, but supplementation through the use of mineral premixes may sometimes be necessary depending on which element is deficient. The diet fed to the animals must be properly balanced to meet the needs. However, it is important to avoid excesses or deficiencies, as both can cause health problems and negatively impact milk production and quality. A balanced feeding plan must consider various factors, including the age, weight, stage of lactation and health conditions of the cows.

DCAD (Dietary Cation-Anion Difference) is a concept used in the feeding of dairy cows to manage the acid-base balance in their bodies. It is based on the difference between cations (mainly sodium and potassium) and anions (chlorine and sulfur). Managing the level of DCAD is important according to the situation of each cow: a dry cow fed a low DCAD ration decreases the onset of hypocalcaemia; conversely, in a lactating cow, a high-level DCAD ration positively affects the quantity and quality of milk.

# 1. INTRODUZIONE

Una corretta alimentazione, nella vacca da latte, risulta essere la chiave per ottenere uno stato di benessere ottimale delle bovine, garantire elevate prestazioni produttive e ridurre possibili effetti negativi sull'ambiente.

Nella Figura 1 possiamo notare come la frazione inorganica, costituita dagli elementi minerali e determinata analiticamente attraverso l'incenerimento in muffola dal quale si ottiene alla fine il contenuto di "ceneri grezze", rappresenti una quota molto limitata nell'organismo animale (Dell'Orto e Savoini, 2007). Indicativamente il contenuto di minerali si aggira intorno al 4% del peso corporeo e rimane abbastanza costante nel corso della vita degli animali (Bailoni 2021).

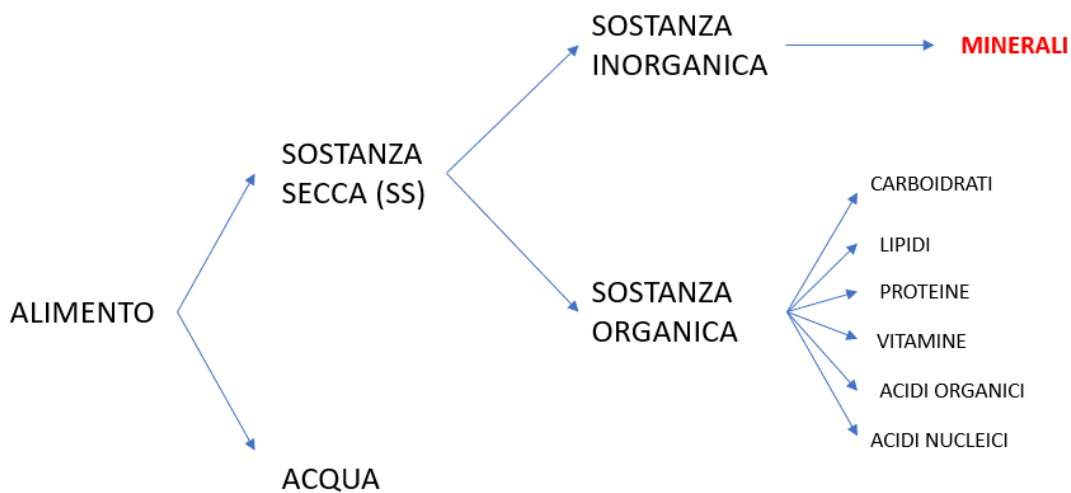


Figura 1, I componenti chimici di un alimento.

Gli elementi minerali utilizzati nella nutrizione si dividono in due grandi gruppi: i macro-minerali e i micro-minerali (Dell'Orto e Savoini 2007). La principale differenza tra macro-minerali e micro-minerali è legata ai fabbisogni: i macro-minerali hanno fabbisogni misurabili in grammi, mentre i micro-minerali hanno fabbisogni minori dell'ordine di milligrammi o parti per milione (ppm) ([www.ruminantia.it](http://www.ruminantia.it), 2023). Sebbene presenti in piccole quantità, i minerali hanno funzioni fondamentali per l'organismo (Bailoni 2021):

- Funzione plastica e strutturale: i minerali sono parte integrante del sangue e di molti tessuti
- Funzione catalitica: partecipano alla composizione di diversi coenzimi che regolano i processi metabolici e la respirazione cellulare
- Funzione fisiologica: controllano la permeabilità ed i potenziali delle membrane cellulari essendo presenti sottoforma di ioni, ovvero sono dotati di carica

- Funzione regolatrice: regolano la pressione osmotica, l'equilibrio acido-base del sangue e il pH del plasma

MACRO-MINERALI	MICRO-MINERALI
Calcio (Ca)	Cobalto (Co)
Fosforo (P)	Ferro (Fe)
Magnesio (Mg)	Iodio (I)
Potassio (K)	Manganese (Mn)
Sodio (Na)	Molibdeno (Mo)
Cloro (Cl)	Rame (Cu)
Zolfo (S)	Selenio (Se)
	Zinco (Zn)

Tabella 1. I macro e micro minerali essenziali (da Ruminantia, 2023; mod.)

Nella Tabella 1 sono riportati i macro- e micro-minerali che vengono considerati ai fini della nutrizione animale e che sono importanti per gli organismi viventi, in quanto la loro carenza determina la comparsa di sintomatologie cliniche o subcliniche (www.ruminantia.it, 2007) che portano ad una riduzione delle prestazioni negli animali da reddito, ad un minor stato di benessere fino a vere e proprie patologie.

Il contenuto di minerali negli alimenti è molto variabile e influenzato da molteplici fattori (Dell'Orto e Savoini 2007). Negli alimenti vegetali il contenuto di minerali dipende principalmente dalla specie foraggera (ad esempio nelle leguminose si trovano livelli più alti di calcio, potassio, magnesio, selenio e zinco rispetto alle graminacee), dallo stadio vegetativo delle piante e dal tipo di terreno su cui crescono.

Lo studio della nutrizione minerale è piuttosto complesso poiché l'assorbimento dei singoli elementi da parte degli animali è influenzato da molti fattori (Bailoni, 2021):

- contenuto di fibra solubile: la fibra solubile (ad es. le pectine) crea nel tratto digerente un gel che trattiene alcuni minerali rendendoli non assorbibili da parte dell'organismo;
- presenza di ossalati e fitati: gli ossalati e i fitati sono dei sali nei quali calcio e fosforo rispettivamente sono presenti in forme non sono assorbibili dall'animale;
- carenze vitaminiche: la carenza di vitamina B12 ostacola, ad esempio, l'assorbimento del ferro a livello intestinale;
- pH intestinale: se è troppo alto può favorire la formazione di sali insolubili;

- l'eccesso di grassi nella dieta può ridurre l'assorbimento;
- fattori che aumentano il tempo del transito intestinale rendono meno efficiente l'assorbimento intestinale di minerali;
- lo stato fisiologico dell'animale: ad esempio nella vacca l'assorbimento di calcio aumenta in prossimità del parto e nei primi 3 mesi di lattazione (Toteda, 2015);
- le interazioni tra elementi causate da una minor disponibilità dell'agente di trasporto (in genere una proteina carrier) può determinare una riduzione dell'assorbimento quando lo stesso "trasportatore" è comune a più elementi.

È quindi importante conoscere tutti questi aspetti ma, in particolare, soffermarsi sui fenomeni di interazione tra elementi perché non è importante solo conoscere la dose ottimale di ciascuno ma anche il giusto equilibrio tra gli elementi stessi. L'eccesso di un elemento può portare a fenomeni di carenza di un altro, pur essendo quest'ultimo presente in quantità idonea, grazie ad una saturazione del carrier. Alcuni esempi di antagonismo tra minerali sono calcio/fosforo e magnesio/potassio (Dell'Orto e Savoini 2007).

## **2. CENNI STORICI SULLA NUTRIZIONE MINERALE**

Già a partire dalla fine del diciannovesimo secolo gli studiosi erano consapevoli che la vacca da latte necessitasse di elementi minerali nella dieta, ma ancora non erano definiti i fabbisogni nutrizionali. Le prime ricerche scientifiche riguardanti la nutrizione minerale sono state condotte nel 1917 con l'uscita del primo articolo del Journal of Dairy Science, nel quale si descrivevano i fabbisogni di calcio e fosforo. Il calcio e il fosforo sono stati i due minerali scoperti per primi e, quindi, i più studiati, considerato che erano quelli presenti in quantità maggiore sia negli alimenti che nell'organismo e risultavano quindi più facilmente misurabili con le tecnologie disponibili a quell'epoca. Nel 1945 esce la prima pubblicazione del National Research Council (NRC) che riporta in modo scientifico i fabbisogni dei diversi elementi minerali per le vacche da latte (Weiss, 2017).

Nella tabella 2 possiamo notare l'anno in cui sono stati inseriti i fabbisogni minerali nelle pubblicazioni editate dall'NRC; il numero "2" posto accanto all'anno di inserimento del magnesio sta ad indicare che erano stati determinati e pubblicati i fabbisogni di magnesio solo per i vitelli e non per le vacche in lattazione.



MACROMINERALE	ANNO DI INSERIMENTO REQUISITO NRC
Calcio	1945
Cloro	1971
Magnesio	1945*2
Fosforo	1945
Potassio	1971
Sodio	1971
Zolfo	1971

Tabella 2. Inserimento dei fabbisogni dei diversi minerali nelle pubblicazioni NRC (da Weiss, 2017; mod.)

A partire dal 1946 gli studi, riguardanti la nutrizione minerale, sono aumentati in modo esponenziale grazie all'avvento di nuove tecnologie: ad esempio alla fine degli anni '50-'60 sono stati effettuati numerosi studi riguardo i fenomeni di ipocalcemia e ipomagnesiemia e negli anni '70 sono state pubblicate le prime ricerche sui micro-minerali quali cobalto, ferro, rame, manganese, zinco, iodio e selenio. Nel 1971 il sistema NRC ha subito grandi modifiche con l'aggiunta nel testo dei fabbisogni di calcio e fosforo e l'introduzione degli altri macro-minerali: cloro, potassio, sodio e zolfo. Sempre negli anni '70 sono iniziati i primi esperimenti che dimostravano che la somministrazione di diete anioniche alle vacche comportavano una riduzione del fenomeno di ipocalcemia o febbre da latte; quindi, in questi anni è stato introdotto il concetto di "Dietary Cation Anion Difference" (DCAD). Negli anni '90 non sono stati fatti ulteriori studi e si è cercato di approfondire il concetto di DCAD e il modo in cui era collegato con l'ipocalcemia nella vacca da latte. Dai primi anni 2000 fino ad oggi sono stati modificati diversi fabbisogni di minerali grazie anche alle numerose prove sperimentali che hanno messo a punto le quantità ottimali dei diversi elementi. Si è constatato tuttavia che negli ultimi 100 anni, le conoscenze riguardo a questo complesso argomento sono ancora limitate nelle vacche da latte a causa degli alti costi nelle determinazioni analitiche e delle sperimentazioni in vivo e in vitro necessarie per arrivare ad una conoscenza completa dal metabolismo minerale.

### 3. I MACROMINERALI

Come sopra riportato, i macro-minerali presenti nell'organismo sono calcio (Ca), fosforo (P), potassio (K), sodio (Na), magnesio (Mg), cloro (Cl) e zolfo (S); sono chiamati così perché i loro fabbisogni sono esprimibili in g/kg (Dell'Orto e Savoini 2007).

Oggi le vacche da latte negli allevamenti intensivi sono molto più produttive rispetto al passato; le razioni devono quindi essere adeguate all'aumento dei fabbisogni e, difficilmente, l'apporto di minerali con i soli ingredienti della dieta può coprire la totalità dei fabbisogni nutrizionali dell'animale. L'integrazione minerale risulta perciò necessaria e l'apporto dei singoli elementi deve essere equilibrato per assicurare anche un corretto rapporto tra gli elementi stessi. L'integrazione va studiata considerando non solo la produttività ma anche lo stadio fisiologico nel quale si trova l'animale arrivando alla possibilità di una dieta "personalizzata" secondo i nuovi canoni della "precision feeding" ([www.ruminantia.it](http://www.ruminantia.it), 2018).

I macro-minerali non hanno solo un ruolo strutturale, essendo componenti di organi e tessuti, ma contribuiscono in modo sostanziale all'equilibrio acido-base, alla polarità e all'osmolarità della membrana e svolgono anche una funzione importante nella fisiologia delle cellule immunitarie (Nelson e Bradford, 2022).

Tra i macro-minerali sono presenti 4 cationi e 3 anioni. Tra i cationi sono da ricordare calcio, magnesio, sodio e potassio: gli ultimi due sono caratterizzati da un elevato potere alcalinizzante. Tra gli anioni sono presenti cloro, zolfo e fosforo ma solo i primi due hanno un effetto marcato sul pH del sangue. Quindi i 4 elementi che maggiormente incidono sulla variazione del pH sanguigno, ovvero sodio, potassio, cloro e zolfo, sono alla base del concetto di equilibrio ionico della razione, (Dietary Cation Anion Difference; DCAD), ossia della stretta relazione fra minerali caricati positivamente (cationi) e minerali caricati negativamente (anioni) sulle prestazioni degli animali ([www.feedcentral.com.au](http://www.feedcentral.com.au), 2023).

<b>MACROMINERALI</b>	<b>FUNZIONI</b>	<b>EFFETTI IN CASI DI CARENZA</b>	<b>EFFETTI IN CASI DI ECCESSO</b>	<b>FONTI</b>
<b>CALCIO</b>	1) Componente del tessuto osseo 2) Interviene nella coagulazione del sangue 3) determina il potenziale di membrana 4) ruolo fondamentale nella contrazione muscolare e conduzione nervosa 5) attività enzimatica 6) regola il rilascio di ormoni	Si verifica l'ipocalcemia. Nei bovini, in casi gravi, l'animale sta continuamente in decubito. Si riscontra una diminuzione dell'ingestione e una perdita di produzione	/	Erba medica, sulla, veccia, trifoglio, barbabietola, alimenti di origine animale che sono però vietati nei bovini
<b>FOSFORO</b>	1) componente del tessuto osseo 2) costituente di ATP, acidi nucleici, fosfolipidi e fosfoproteine 3) influenza l'equilibrio acido-base del sangue 4) componente della saliva 5) importante nel sistema immunitario	1) disturbi epatici, cardiovascolari e neurologici 2) emoglobinuria 3) anoressia 4) malfunzionamento del sistema immunitario	1) riduzione dell'assorbimento di calcio 2) calcoli renali 3) osteomalacia	Semi di frumento, orzo e sorgo e sottoprodotti dell'industria molitoria
<b>MAGNESIO</b>	1) componente del tessuto osseo 2) aiuta nella sintesi di proteine, DNA e RNA 3) è cofattore degli enzimi 4) influenza più di 300 enzimi 5) stabilizza le membrane mitocondriali 6) partecipa nella crescita e riproduzione cellulare	1) irrigidimento muscolare 2) contrazioni spastiche 3) inarcamento del collo	1) riduzione dell'ingestione 2) diarrea osmotica	Bietola da foraggio e zucchero, fieni di leguminose (soprattutto trifoglio), granelle di leguminose, cruscami, pannelli e F.E.
<b>POTASSIO</b>	1) regola il funzionamento	1) diminuzione di ingestione	1) diminuzione dell'assorbimento di	Foraggi di graminacee e

	<p>cellulare, l'equilibrio acido base del sangue e la pressione osmotica</p> <p>2) partecipa nella contrazione muscolare</p> <p>3) interviene nella trasduzione del segnale</p> <p>4) permette la trasmissione degli impulsi nervosi</p>	<p>2) calo di peso e produzione</p> <p>3) l'animale non si regge in piedi</p> <p>4) pica</p> <p>5) perdita di lucentezza del pelo</p>	<p>magnesio</p> <p>2) ipovolemia</p> <p>3) diminuzione di ingestione</p> <p>4) calo di peso e produzione</p> <p>5) alta escrezione urinaria</p>	<p>leguminose</p>
<b>SODIO</b>	<p>1) modula il volume dei fluidi extracellulari</p> <p>2) regola la funzione cardiaca e la conduzione e trasmissione dell'impulso nervoso</p> <p>3) componente della pompa sodio-potassio</p> <p>4) componente della saliva</p> <p>5) regola l'equilibrio acido-base del sangue</p>	<p>1) pica</p> <p>2) gli animali si strappano il pelo</p> <p>3) gli animali bevono l'urina</p>	<p>1) edema della mammella</p> <p>2) disidratazione</p>	<p>Molto scarso in quasi tutti gli alimenti</p>
<b>CLORO</b>	<p>1) regola la pressione osmotica</p> <p>2) attiva l'amilasi pancreatica</p> <p>3) è un componente dei succhi gastrici</p> <p>4) mantiene il gradiente ionico della cellula</p> <p>5) partecipa nel trasporto di ossigeno e anidride carbonica</p>	<p>1) diminuzione dell'ingestione</p> <p>2) calo di produzione</p> <p>3) costipazione</p> <p>4) emaciazione</p> <p>5) letargia</p> <p>6) depressione cardiovascolare</p>	/	<p>Molto scarso in quasi tutti gli alimenti</p>
<b>ZOLFO</b>	<p>1) componente di vitamine e amminoacidi</p> <p>2) partecipa alla conformazione della struttura terziaria delle proteine</p>	/	<p>1) diminuzione dell'assorbimento di selenio e rame</p> <p>2) polioencefalomalacia</p> <p>3) contrazioni muscolari</p> <p>4) enteriti</p> <p>5) stati comatosi</p>	<p>La presenza di zolfo è proporzionale al contenuto proteico negli alimenti</p>

Tabella 3. Sintesi delle funzioni, carenze, eccessi e fonti dei macro-minerali (da National Research Council 2001; da Cevolani et al. 2022; mod.).

I fabbisogni di macro-minerali, nella vacca da latte, variano a seconda dello stadio di lattazione e dei kg di latte prodotto come dimostra la Tabella 4. I fabbisogni sono calcolati tenendo conto dei fabbisogni di mantenimento, gestazione, lattazione e crescita nel caso delle primipare che non hanno ancora completato lo sviluppo.

	<b>PRIMIPARA</b>	<b>PRIMIPARA</b>	<b>PLURIPARA</b>	<b>PLURIPARA</b>	<b>PLURIPARA</b>
<b>Gg di lattazione</b>	15	150	20	100	200
<b>Kg di latte</b>	33	39	53	55	43
<b>Calcio</b>	0,57	0,57	0,64	0,60	0,58
<b>Fosforo</b>	0,35	0,35	0,39	0,37	0,35
<b>Magnesio</b>	0,17	0,17	0,18	0,18	0,17
<b>Potassio</b>	1,03	0,97	1,10	1,00	0,99
<b>Sodio</b>	0,21	0,21	0,23	0,22	0,21
<b>Cloro</b>	0,29	0,30	0,34	0,32	0,29
<b>Zolfo</b>	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

Tabella 4. I fabbisogni di macro-minerali nei diversi periodi della vacca da latte. (da Cevolani et al. 2022)

## 3.1 IL CALCIO

Lo ione  $\text{Ca}^{2+}$  è il minerale più abbondante in tutti gli animali vertebrati. Lo troviamo sia nel comparto intracellulare ma soprattutto nel comparto extracellulare; infatti, il 99% del calcio presente negli organismi si trova nelle ossa e nei denti (Fiore, 2023). Il restante 1% del calcio è immagazzinato nel sangue e in altri tessuti, dove partecipa a diverse funzioni quali (Hernandez-Castellano et al., 2019):

- coagulazione del sangue
- determinazione del potenziale di membrana
- contrazione muscolare
- conduzione nervosa
- attività enzimatica
- regolazione rilascio di ormoni

La concentrazione di calcio nel sangue è di 2,4-2,7 mmol/l nella vacca in lattazione e 2,5-2,8 mmol/l nella vacca in asciutta; metà del calcio è presente in forma ionizzata, mentre l'altra metà è legata alle proteine plasmatiche o ad altri componenti del sangue (Dell'Orto e Savoini, 2007) (National Research Council, 2001).

Il metabolismo del calcio è controllato fisiologicamente al fine di prevenire situazioni di ipocalcemia e ipercalcemia: vi è infatti una stretta interazione tra escrezione urinaria, assorbimento intestinale e mobilizzazione dal tessuto osseo. I meccanismi appena elencati sono regolati dal paratormone (PTH), dalla calcitonina e dalla vitamina  $\text{D}_3$  o calcitriolo (Fiore, 2023). Il paratormone si occupa di aumentare la concentrazione di calcio nel sangue tramite il riassorbimento di calcio dal tessuto osseo e dai reni; è stato dimostrato anche che il PTH stimola la secrezione di un particolare enzima, l'1-alfa-idrossilasi renale, che si occupa della sintesi della vitamina  $\text{D}_3$ . Quest'ultima favorisce anch'essa l'aumento della concentrazione di calcio nel sangue tramite l'assorbimento intestinale e il riassorbimento renale di calcio (Hernandez-Castellano et al. 2019). La calcitonina invece, ha un ruolo di inibizione del riassorbimento di calcio osseo; va quindi a contrapporsi alle funzioni del paratormone, soprattutto nel periodo che precede il parto.

Il metabolismo del calcio è strettamente collegato a quello del fosforo, tanto che un eccesso di fosforo (P) può portare ad una diminuzione dell'assorbimento di calcio a livello intestinale; è pertanto dimostrato che è importante mantenere un rapporto Ca/P vicino a 2:1 nel bovino (Bailoni 2021).

Il calcio negli alimenti è presente in quantità piuttosto variabili e risulta più abbondante negli alimenti di origine animale. Alte concentrazioni di calcio sono riscontrabili nei foraggi di leguminose, come l'erba medica e il trifoglio; al contrario, gli alimenti con un contenuto di calcio inferiore sono le radici e i cereali (Bailoni 2021, National Research Council, 2001). Nella pratica del razionamento, il tecnico alimentarista sopperisce al fabbisogno minerale nella vacca grazie all'impiego di integratori, molto spesso sotto forma di sali, che presentano una buona biodisponibilità. I sali minerali più utilizzati per apportare calcio nella dieta delle bovine da latte sono il carbonato di calcio e il fosfato bicalcico (Dell'Orto e Savoini, 2007) che possono essere aggiunti nel carro miscelatore unitamente agli altri ingredienti o inseriti in un pozzetto lungo la rastrelliera.

I minerali sono presenti nel latte in quantità variabili a seconda della specie, razza, stadio di lattazione, alimentazione, salute della mammella e altri fattori individuali. In vacche di razza Frisona, un kg di latte contiene in media 1275 mg di calcio (Manuelian et al., 2018).

### **3.1.1 L'IPOCALCEMIA**

Durante il periparto la vacca subisce importanti cambiamenti fisiologici. In particolare, con l'inizio della lattazione aumenta drasticamente la domanda di calcio che porta ad una conseguente diminuzione della concentrazione ematica (Rodríguez et al., 2017). L'ipocalcemia si può manifestare in tre stadi (Fiore, 2023):

- ipocalcemia subclinica: questa forma colpisce quasi il 50% delle vacche dopo il parto ed è caratterizzata da un calo della concentrazione di calcio ematico al di sotto di valori di 2 mmol/l (8 mg/dl).
- ipocalcemia clinica: questa forma, che è chiamata anche sindrome della febbre da latte o collasso puerperale, colpisce mediamente il 5% delle vacche dopo il parto e in questo caso la concentrazione di calcio scende al di sotto di 1,5 mmol/l.
- sindrome da vacca a terra: questa è la forma più grave di ipocalcemia che nella maggior parte dei casi risulta fatale per la vacca. La carenza di calcio è talmente alta che l'animale non riesce ad alzarsi in piedi: se la vacca sta sempre in decubito il suo peso causa danni agli arti e agli organi interni.

Il fattore principale che determina l'ipocalcemia è in generale dovuto ad una serie di errori gestionali commessi dagli allevatori/nutrizionisti. L'ipocalcemia si manifesta nei giorni successivi al parto a causa di un'errata gestione dell'alimentazione durante la fase di asciutta. In questo periodo infatti è

importante mantenere basso il livello del calcio nella razione, affinché l'animale nel corso della lattazione metta in atto i meccanismi fisiologici in grado di garantire un riassorbimento del calcio dai reni e dalle ossa grazie al paratormone e alla calcitonina (Fiore, 2023). I fattori che favoriscono l'insorgenza dell'ipocalcemia nel post-parto sono:

- mancata funzionalità di paratormone e calcitonina
- incremento improvviso della domanda di calcio dopo il parto legato alla crescente produzione di latte e, inizialmente, di colostro che arriva a contenere fino a 2,3 g di calcio per litro (www.ruminantia.it, 2014)
- ridotta ingestione volontaria della razione che comporta una minor assunzione di calcio
- diete troppo ricche di calcio nel periodo di asciutta che non stimolano il riassorbimento di calcio dai reni o la mobilizzazione dalle ossa
- diete troppo ricche di fosforo che aumentano l'incidenza di ipocalcemia come dimostrato in

Tabella 5

<b>P ingestione (gr)</b>	<b>Ipocalcemia %</b>
10	0
34	50
48	69
67	75
82	80

Tabella 5. La correlazione tra l'ingestione di P in preparto e l'incidenza di ipocalcemia post-parto nella vacca da latte (da <https://www.comazoo.it/lipocalcemia-nella-vacca-da-latte/> ; mod.)

Attualmente l'incidenza dei fenomeni più gravi di ipocalcemia sta diminuendo grazie ad una migliore gestione del delicato periodo di transizione da parte degli allevatori; infatti, nel passato, si considerava il periodo di asciutta come un "peso" dal punto di vista gestionale in quanto la bovina in questa fase non fornisce reddito; per questo motivo venivano utilizzati prevalentemente alimenti di scarsa qualità, come foraggi grossolani e sottoprodotti, caratterizzati da un'elevata quantità di fosforo che si accumula a livello renale e viene poi smaltita con il calcio, aumentando quindi il livello di ipocalcemia (Fiore, 2023).

L'ipocalcemia può costituire una dismetabolia che predispone l'animale anche ad altre patologie tipiche del post-parto. L'ipocalcemia può causare una perdita della motilità della muscolatura liscia; può, infatti, determinare un'inibizione della motilità del tratto gastro-intestinale che comporta una



minor digeribilità ed assorbimento dei nutrienti causando anche un possibile deficit energetico, una conseguente minor produzione di latte, maggiori rischi di dislocazione abomasale e maggior incidenza di chetosi (Cozzi, 2022). Un altro apparato che può subire conseguenze sfavorevoli in relazione all'ipocalcemia è quello riproduttore: infatti l'inibizione della motilità uterina causa difficoltà e possibili distocie al parto; inoltre, le mancate contrazioni dell'utero dovute all'assenza di calcio comportano un ritardo nell'espulsione della placenta che è causa di metriti ed endometriti (Stelletta, 2022).

Gli interventi terapeutici che vengono adottati nei casi di ipocalcemia clinica e subclinica sono la somministrazione di calcio altamente disponibile attraverso una soluzione di calcio per via endovenosa oppure con dei boli di calcio, sempre in forma organica, somministrati con una siringa (Rodríguez et al., 2017). Per quanto riguarda lo stadio più grave di ipocalcemia, ovvero la sindrome da vacca a terra, può risultare pericoloso somministrare calcio per via endovenosa: se il calcio viene somministrato e assorbito troppo velocemente si corre il rischio di creare aritmie che possono uccidere l'animale (Fiore, 2023).

Nel Grafico 1 possiamo notare come la calcemia sia notevolmente bassa nei due giorni successivi al parto; il calcio nel sangue è espresso in mg/dl, per trasformarlo in mmol/l sarà sufficiente dividere il valore in mg/dl per 8. Ad esempio nel secondo giorno dopo il parto la calcemia sarà di 0,88 mmol/l ( $7,04 : 8 = 0,88$ ), quindi molto bassa (<https://www.daniobuoli.com> , 2017).

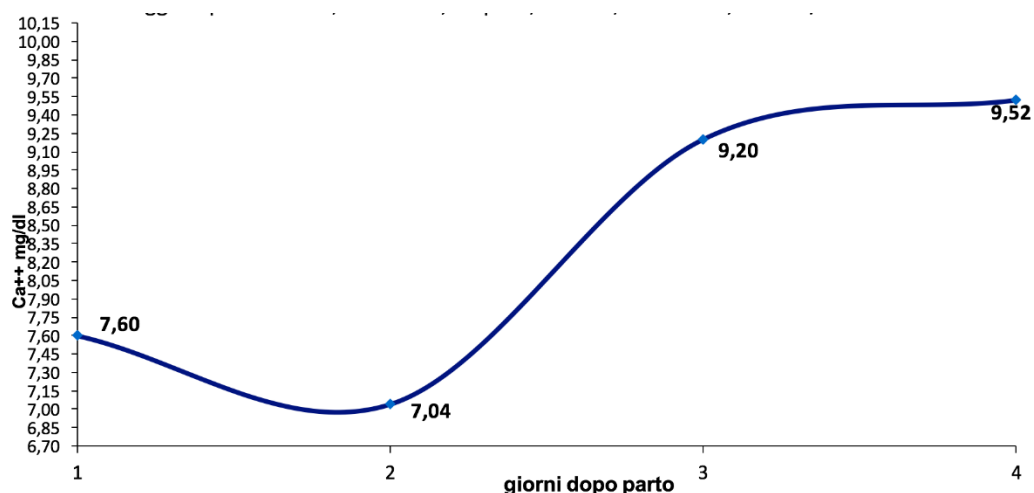


Grafico 1. Livelli sanguigno di calcio nei giorni successivi al parto (da <https://www.daniobuoli.com/2017/01/01/ipocalcemia-sub-clinica/> )

## 3.2 IL FOSFORO

Il fosforo è il macro-minerale di cui si conoscono meglio le funzioni. Insieme al calcio, è presente nelle ossa e nei denti per l'80%, sotto forma di sali di apatite e fosfato di calcio.

Il restante 20% ha varie funzioni quali (National Research Council, 2001):

- il trasferimento dell'energia all'interno della cellula grazie all'adenosintrifosfato (ATP)
- effetto tampone nell'equilibrio acido-base nel sangue
- ruolo nella digestione essendo un componente della saliva
- componente di fosfolipidi, fosfoproteine e acidi nucleici
- secondo Eisenberg et al. (2019) il fosforo sembra avere un ruolo anche nel sistema immunitario

Il normo valore di fosforo nel sangue è in un range che varia da 1.5-2 mmol/l nella vacca in lattazione e 1,6-2 mmol/l nella vacca in asciutta (Dell'Orto e Savoini, 2007).

Fra tutti i macro-minerali il fosforo è il più pericoloso dal punto di vista ambientale in quanto l'eccesso di questo elemento nella distribuzione dei reflui zootecnici può portare a contaminazione delle acque superficiali che causa eutrofizzazione (National Research Council, 2001); secondo Correll (1998), infatti, l'eutrofizzazione porta ad uno sviluppo anomalo di alghe e cianobatteri che sottraggono ossigeno causando anossia nei pesci e quindi la loro morte. È importante quindi non eccedere con gli apporti di fosforo nella dieta per evitare lo spreco e l'inquinamento delle acque.

Le principali fonti di fosforo sono l'avena, la crusca di frumento, la soia e in parte i foraggi (Bailoni, 2021). Negli alimenti il fosforo può essere presente nella forma di fitato; in questa forma il fosforo non è disponibile per gli animali monogastrici mentre nei ruminanti la microflora ruminale è in grado di sintetizzare le fitasi e quindi liberare i gruppi fosfato dal fitato (Hill et al., 2008). I principali integratori minerali a base di fosforo utilizzati in zootecnia sono il fosfato monosodico e il fosfato monocalcico (Dell'Orto e Savoini, 2007).

Anche il fosforo è presente nel latte bovino ed è correlato positivamente con la produzione di formaggio (Manuelian et al., 2018).

### 3.2.1 L'IPOFOSFATEMIA

L'ipofosfatemia è una patologia che si verifica nel periodo del parto ed è strettamente associata all'ipocalcemia (Grunberg et al., 2019). Una carenza di fosforo nei bovini potrebbe essere riconducibile ai tentativi di ridurre l'impatto ambientale derivante dall'eccesso di questo elemento nei reflui zootecnici, che implica l'impiego di quantità più equilibrate nella razione alimentare evitando sovradosaggi (Eisenberg et al., 2019); va inoltre considerato che circa il 98% dell'escrezione totale di fosforo avviene nelle feci (National Research Council, 2001).

L'ipofosfatemia può causare, o comunque contribuire, al manifestarsi dell'ipocalcemia e della emoglobinuria post-parto, ovvero la presenza di emoglobina nell'urina. Altre patologie che si possono verificare a causa della carenza di fosforo sono l'anoressia, disturbi legati al funzionamento delle cellule immunitarie, disturbi cardiovascolari, disturbi epatici e neurologici (Grunberg et al., 2019). Secondo uno studio di Keanthao et al. (2021) una riduzione della concentrazione di fosforo nella dieta durante il periodo di asciutta può causare un aumento di calcio plasmatico.

L'ipofosfatemia si può diagnosticare nelle bovine anche da alcuni comportamenti atipici degli animali, ad esempio ruotare la testa all'indietro (Figura 2) e strappare peli mostrando poi zone completamente glabre (Fiore, 2023).



Figura 2. Vacca da latte affetta da ipofosfatemia (da <https://vetjournal.it/it/item/3292-ipofosfatemia-nella-bovina-da-latte-sali-del-fosforo-a-confronto.html>)

### **3.2.2 L'IPERFOSFATEMIA**

La somministrazione di una dieta troppo ricca di fosforo può dare dei problemi per quanto riguarda il metabolismo del calcio. Si possono formare dei calcoli renali e la comparsa di una patologia, definita osteomalacia, causata da un eccessivo riassorbimento di calcio dal tessuto osseo (National Research Council, 2001). L'osteomalacia, nella vacca da latte, comporta una difficoltà a sollevarsi da terra (passaggio dalla posizione di decubito alla posizione eretta) e nella deambulazione, con la comparsa, in alcuni casi di una camminata molto particolare nella quale gli arti anteriori tendono ad incrociarsi (Bailoni, 2021).

Secondo quanto riportato dall'NRC (2001), i bovini sono comunque abili a smaltire il fosforo in eccesso tramite le feci.

### 3.3 IL MAGNESIO

Il magnesio si trova per il 70% mineralizzato nelle ossa insieme a calcio e fosforo (Bailoni, 2021) e nella vacca rappresenta lo 0,05% del peso corporeo.

Il magnesio ha diverse funzioni all'interno dell'organismo, quali (Schonewille, 2013):

- è cofattore per molti enzimi
- influenza oltre 300 enzimi cellulari impiegati nel metabolismo energetico
- ha un ruolo nella sintesi proteica
- ha un ruolo nella sintesi di DNA e RNA
- ha un ruolo nella crescita e riproduzione cellulare
- interviene nella stabilizzazione delle membrane mitocondriali

il magnesio inoltre ricopre un ruolo fondamentale, insieme al calcio, nel funzionamento dei muscoli scheletrici e cardiaci e nella trasmissione dei segnali da parte del sistema nervoso. È stato dimostrato che il magnesio ricopre una funzione importante nel metabolismo del calcio; infatti, si occupa del metabolismo dell'ormone paratiroideo e della vitamina D (Schonewille, 2013).

La concentrazione di magnesio è di 0,9-1,1 nella vacca in lattazione e 0,85-1,0 nella vacca in asciutta (Dell'Orto e Savoini, 2007). L'assorbimento del magnesio avviene a livello pilorico-duodenale e il suo tasso di assorbimento dipende dal tipo di alimento, dall'età dell'animale e dalla concentrazione degli altri minerali (Toteda, 2015). Nell'alimento, il contenuto di magnesio dipende non solo dallo stadio vegetativo in cui si trova la pianta alla raccolta, ma è strettamente collegato al tipo di terreno: Schonewille (2013) ha dimostrato che il contenuto di magnesio nelle piante è più ricco se coltivate in terreni argillosi piuttosto che in terreni sabbiosi.

Gli alimenti più ricchi di magnesio sono la crusca di frumento, i lieviti, il pannello di colza e il pannello di lino, mentre l'integratore più utilizzato è l'ossido di magnesio (Bailoni, 2021).

Uno studio condotto da Jeong et al. (2018) ha dimostrato che è fondamentale coprire correttamente i fabbisogni nutrizionali di magnesio per ridurre l'incidenza di distocie, ritenzioni placenti, endometriti e zoppie nel parto. Allo stesso modo, mantenere corretti apporti di magnesio nella fase di lattazione aiuta a riprendere più velocemente l'attività ciclica diminuendo quindi l'intervallo tra il parto e la prima fecondazione.

Fino ad ora non è ancora stato identificato un sistema di regolazione ormonale del magnesio; nei bovini il mantenimento della concentrazione di questo minerale dipende dall'assorbimento da parte del tratto gastrointestinale, mentre gli eventuali eccessi vengono eliminati facilmente attraverso i

reni, causando al massimo una riduzione dell'ingestione alimentare e/o una diarrea osmotica (Martens e Stumpff, 2019, National Research Council, 2001).

### 3.3.1 L'IPOMAGNESIEMIA

L'ipomagnesiemia si manifesta quando la concentrazione di magnesio scende sotto i 2-2.3 mg/dl. Al contrario dell'ipocalcemia, che causa flaccidità muscolare, l'ipomagnesiemia irrigidisce i muscoli causando manifestazioni simili a quelle del tetano. Inizialmente questa patologia si manifesta con tremori, mentre nelle fasi più avanzate presenta contrazioni spastiche, irrigidimento di tutti e quattro gli arti (Figura 3) e inarcamento del collo all'indietro dovuto alla contrazione dei muscoli sul legamento nucale; può portare alla morte perché il diaframma non si contrae.



Figura 3. Vacca da latte affetta da ipomagnesiemia (da <https://www.docenti.unina.it/webdocenti-be/allegati/materiale-didattico/34402042> )

Si differenzia dal tetano perché nell'ipomagnesiemia gli animali sono molto suscettibili ai rumori improvvisi (Fiore, 2023).

L'ipocalcemia si può manifestare anche a causa dell'ipomagnesiemia; infatti una minor presenza di magnesio implica una minor secrezione di paratormone e vitamina D che quindi comporteranno un minor riassorbimento di calcio osseo e un minor assorbimento di calcio a livello intestinale (Schonewille, 2013). Esistono diversi fattori che possono influire negativamente sul corretto assorbimento del magnesio come alimenti troppo ricchi di potassio e azoto e alimenti molto umidi; tutte queste caratteristiche sono presenti nei foraggi immaturi quando gli animali sono al pascolo (National Research Council, 2001).

Per prevenire l'ipomagnesiemia è possibile aumentare il livello di magnesio nella razione oppure incrementare le concimazioni con prodotti a base di magnesio nelle superfici coltivate (Schonewille, 2013).

### 3.4 IL POTASSIO

Il potassio è il terzo macro-minerale per quantità nell'organismo e il catione endocellulare più importante; è localizzato soprattutto nei muscoli (75%), nel fegato e in minima parte nelle ossa (5%) (Toteda, 2015).

Il potassio si occupa principalmente di (Berg et al., 2017):

- regolare il funzionamento cellulare
- regolare la pressione osmotica
- consentire la trasduzione del segnale
- mantenere l'equilibrio acido-base
- trasmettere gli impulsi nervosi
- contrazione muscolare

Il contenuto di potassio endocellulare ed extracellulare è molto diverso quantitativamente parlando; infatti, la concentrazione di potassio extracellulare è di circa 3,9-5,8 mmol/l, mentre a livello endocellulare è di 150-160 mmol/l. È importante ribadire che, anche se in maniera imprevedibile, il potassio può spostarsi dentro o fuori la cellula (Goff, 2006).

Le diete dei bovini comprendono alimenti ricchi di potassio, per cui è difficile riscontrare in allevamento fenomeni di carenza; l'assorbimento avviene principalmente nel duodeno e in piccola parte nel digiuno, nell'ileo e nell'intestino crasso. La principale via escretoria del potassio in eccesso sono i reni, questo meccanismo è regolato dall'aldosterone, prodotto dalle ghiandole surrenali, che ha il compito di favorire il riassorbimento di sodio nei reni grazie all'escrezione di potassio (National Research Council, 2001).

il fabbisogno di potassio in lattazione è il doppio di quello in asciutta; questi dati sono riportati dal National Research Council (2001) che evidenziano il ruolo fondamentale del potassio nei processi di fermentazione ruminali, che sono molto più attivi in una vacca in lattazione che presenta un'ingestione alimentare più alta.

Gli alimenti più ricchi di potassio sono i foraggi, sia di leguminose che di graminacee, l'insilato di mais e le polpe di bietola; poiché i fenomeni di carenza di potassio sono molto rari, non sono previsti

integratori minerali specifici (Dell'Orto e Savoini, 2007).

### **3.4.1 L'IPOKALIEMIA**

Generalmente i fenomeni di carenza di potassio si manifestano quando la concentrazione plasmatica scende sotto i 2,5 mmol/l o comunque quando la concentrazione di potassio sulla SS della dieta scende al di sotto dello 0,10% nelle bovine in lattazione. Il fenomeno di carenza di potassio lo si può riconoscere perché la vacca non riesce a reggersi in piedi, ingerisce meno alimenti ed acqua, ha una perdita di peso e produzione di latte, diminuisce la lucentezza del pelo e presenta la pica. I sintomi di ipokaliemia colpiscono più gravemente gli animali più produttivi (National Research Council, 2001). I due motivi principali dell'insorgenza dell'ipokaliemia sono un'errata preparazione della razione da parte degli allevatori e un'eccessiva escrezione a livello renale.

L'insorgenza dell'ipokaliemia è stata collegata anche alla somministrazione di farmaci con attività glucocorticoide usati per curare la chetosi. Questi farmaci possono talvolta avere attività mineralcorticoide che favorisce un'eccessiva escrezione a livello renale e quindi un'alta perdita di potassio (Goff, 2006; National Research Council, 2001). Per il trattamento dell'ipokaliemia, da uno studio di Goff (2006) emerge come la somministrazione di cloruro di potassio possa essere utile per aumentare la quantità di acqua ingerita dall'animale, evitando così fenomeni di disidratazione che sono correlati ad una maggior produzione di aldosterone e quindi un'eccessiva escrezione di potassio (Goff, 2006).

### **3.4.2 L'IPERKALIEMIA**

In natura non si riscontrano frequentemente fenomeni di iperkaliemia, se si escludono le situazioni di sovradosaggio di potassio nell'alimentazione. Si parla di iperkaliemia quando il quantitativo di potassio sulla sostanza secca eccede il 3-4%; questa patologia causa, nel bovino, una minor ingestione di cibo e acqua, un calo di produzione di latte e una maggior escrezione di urina e quindi di potassio. Avendo una ridotta ingestione di liquidi e una maggior escrezione di urina, si ha una perdita di fluidi all'interno dell'organismo che causa ipovolemia. Infine, un'eccessiva concentrazione di potassio impedisce il corretto assorbimento del magnesio (National Research Council, 2001; Goff, 2006).



## 3.5 IL SODIO

Il sodio è il catione principale nell'ambiente extracellulare; la frazione non scambiabile del sodio, tra il 30% e il 50%, si trova nel tessuto osseo che presenta una concentrazione pari allo 0,4%, mentre la restante quota, ovvero la frazione scambiabile, si trova negli altri tessuti e ricopre diversi ruoli (Totada, 2015; National Research Council, 2001):

- modulazione del volume dei fluidi extracellulari e regolazione dell'equilibrio acido base
- insieme al potassio, regola la funzione cardiaca e la conduzione e trasmissione dell'impulso nervoso
- è parte integrante della pompa sodio-potassio che crea gradienti elettrici per il trasporto dei nutrienti. È importante perché consente il trasporto, ad esempio, di aminoacidi e glucosio
- è un componente della saliva, quindi ha effetto tampone nel ruminante

Il sodio ingerito dai ruminanti si presuppone sia quasi completamente disponibile e l'assorbimento avviene nel tratto gastro-intestinale in due modi: il trasporto attivo e il trasporto passivo. Il primo riguarda il reticolo, l'omaso, l'abomaso e il duodeno, mentre il secondo riguarda solo una parte del tratto intestinale. Essendo molto assimilabile quindi, il sodio non viene escreto con le feci.

La concentrazione di sodio nel sangue in una vacca in lattazione è di 135-142 mmol/l, mentre in una vacca in asciutta è di 140/145 mmol/l e viene mantenuta grazie al lavoro di riassorbimento dei reni. E' inoltre regolato dal sistema renina-angiotensina-aldosterone (National Research Council, 2001; Dell'Orto e Savoini, 2007). Di tutto il sodio assorbito dai bovini, solo una piccola parte viene immagazzinata in una forma prontamente disponibile (Totada, 2015; National Research Council, 2001).

Il sodio risulta essere un macro-minerale scarsamente presente nell'insilato di mais, ma è possibile integrarlo con alcuni Sali, come il cloruro di sodio o il fosfato monosodico (Dell'Orto e Savoini, 2007).

Il National Research Council (2001) spiega che i bassi fabbisogni di sodio sono dovuti ad un eccellente grado di assorbimento da parte dei bovini che si attesta all'85%, se le fonti sono rappresentate dagli alimenti che compongono la razione, e al 100% quando si utilizzano integratori come il cloruro di sodio. Il fabbisogno in lattazione resta comunque più alto di quello in asciutta perché un basso contenuto di sodio nella dieta causa una riduzione dell'ingestione e quindi anche una minor produzione di latte. La carenza prolungata e grave di sodio nella dieta porta i bovini a leccare materiali non edibili (pica), a strapparsi i peli e bere urina di altri animali; mentre nei casi di eccessi, sono documentati casi di edema della mammella e disidratazione.

## 3.6 IL CLORO

Il cloro è l'anione più rappresentato nell'organismo tanto che rappresenta il 60% degli anioni extracellulari. Il cloro svolge diverse funzioni quali:

- regolazione della pressione osmotica
- insieme a sodio e potassio mantiene il gradiente ionico della cellula
- ha funzione digestiva in quanto è presente nei succhi gastrici
- attiva l'amilasi pancreatica
- contribuisce nel trasporto di ossigeno e anidride carbonica

La concentrazione plasmatica di cloro è di 95-105 mmol/l nella vacca in lattazione e di 100-110 mmol/l nella vacca in asciutta (Dell'Orto e Savoini, 2007). L'assorbimento del cloro avviene lungo tutto il tratto gastro-intestinale e l'80% che vi arriva, proviene dalle secrezioni salivari, gastriche, pancreatiche e biliari. La regolazione del cloro è correlata a quella del sodio; è stato osservato che, in casi di carenza, il cloro riesce a conservarsi autonomamente riducendo le escrezioni con feci, urine e latte. In casi di eccesso, il cloro viene escreto soprattutto con le urine e in parte con le feci (National Research Council, 2001).

Gli alimenti utilizzati di norma nelle diete per vacche da latte sono poveri di cloro, si ricorre quindi ad un'integrazione con cloruro di sodio, detto anche sale pastorizio (Bailoni, 2021). In lattazione i requisiti di cloro sono alti vista la sua discreta presenza nel latte (circa 1,15 g/l) e soprattutto nel colostro; in asciutta invece, il cloro è utilizzato prevalentemente per abbassare il livello di DCAD nella razione per prevenire l'ipocalcemia (National Research Council).

La carenza di cloro nella razione delle vacche da latte ha mostrato una drastica diminuzione di ingestione di alimento e acqua, un calo di produzione di latte e una diminuzione di cloro nel sangue. I segni clinici riscontrabili sono: diminuzione dell'appetito, letargia, emaciazione (animali molto magri e pallidi), costipazione e depressione cardiovascolare. I casi di eccessi, essendo più rari, non sono stati ancora perfettamente studiati ma sono stati suggeriti dei livelli massimi di cloro per evitare effetti negativi, pari al 4% sulla SS per le vacche in lattazione e al 9% per quelle non in lattazione (National Research Council, 2001).

Il cloro, essendo un anione, è molto importante per mantenere bassi i valori di DCAD prevenendo il fenomeno dell'ipocalcemia. Infatti, i cationi, soprattutto il potassio, inibiscono i meccanismi omeostatici che hanno il compito di regolare la concentrazione di calcio nel sangue causando alcalosi metabolica nella vacca che può essere verificata misurando il pH delle urine che, in questo

caso, oscilla tra 7 e 8. La soluzione potrebbe essere quella di somministrare alla vacca un sale anionico come il cloruro d'ammonio che risulta essere però inappetibile (Goff et al., 2007, Cozzi, 2022). Uno studio condotto da Goff et al. (2007) ha dimostrato che è possibile arricchire l'erba medica di cloro abbassando quindi il DCAD dei foraggi. In questo esperimento sono state effettuate delle concimazioni sull'erba medica con cloruro di calcio e cloruro d'ammonio e il risultato è stato un notevole abbassamento del DCAD nei foraggi a fronte di una minima perdita di produzione.

## 3.7 LO ZOLFO

Lo zolfo rappresenta lo 0,15% del peso corporeo di un bovino e possiamo trovarlo quasi interamente come componente di minerali e vitamine e solo in tracce come composto minerale (National Research Council, 2001, Toteda, 2015). Lo zolfo è presente in due vitamine del gruppo B, ovvero biotina e tiamina, e negli amminoacidi solforati cisteina, metionina, omocisteina e taurina. Lo zolfo è fondamentale in quanto grazie ai ponti disolfuro determina la struttura terziaria delle proteine. È possibile trovare lo zolfo anche nei tessuti dal momento in cui avviene l'ossidazione della cisteina e della metionina (National Research Council, 2001). Essendo inoltre un elemento plastico, lo zolfo è un componente dei peli e dello zoccolo (Bailoni, 2021).

La quantità di zolfo all'interno della razione è strettamente correlata con alla concentrazione proteica. Infatti, nella sintesi della proteina microbica a livello ruminale sarà necessario aggiungere alla dieta sia lo zolfo che l'azoto non proteico (NPN); il giusto rapporto tra azoto e zolfo deve essere di 10/12:1. Di norma gli alimenti sono poveri di zolfo per cui sarà necessario integrarlo sotto forma di sale per aver una maggior sintesi di amminoacidi solforati (National Research Council, 2001; Bailoni, 2021). Lo zolfo viene assorbito sotto forma di anione solfuro o solfato soprattutto nell'intestino tenue.

Le carenze di zolfo nell'organismo sono rare e poco studiate, mentre sono state approfondite le questioni relative agli eccessi. L'eccesso di zolfo ostacola l'assorbimento di selenio e rame; nelle intossicazioni acute si possono manifestare fenomeni di cecità, coma, emorragie agli organi, contrazioni muscolari, enteriti e versamento peritoneale. Possiamo riconoscere un eccesso di zolfo dall'alito che odora di idrogeno (National Research Council, 2001).

Con un eccesso di zolfo possiamo avere, dalle fermentazioni ruminali, la formazione di acido solfidrico che viene assorbito velocemente dall'intestino e che in elevate quantità risulta essere molto dannoso: negli ultimi anni si sta infatti studiando una delle patologie causate dall'eccesso di zolfo, ovvero la polioencefalomalacia (National Research Council, 2001; Qian et al., 2020). La polioencefalomalacia (PEM) è una malattia nutrizionale-metabolica che si manifesta, anche a causa di elevate assunzioni di zolfo, con cecità, atassia, opistotono (rigidità spastica della colonna vertebrale) e convulsioni ([www.vetjournal.it](http://www.vetjournal.it), 2004).

## 4. I MICROMINERALI

I micro-minerali, detti anche oligominerali, presenti nell'organismo sono cobalto (Co), ferro (Fe), iodio (I), manganese (Mn), molibdeno (Mo), rame (Cu), selenio (Se) e zinco (Zn); sono chiamati così perché i loro fabbisogni vengono espressi in mg/kg o ppm (Dell'Orto e Savoini, 2007). I micro-minerali sono presenti in bassissime quantità nei tessuti corporei e servono principalmente come componenti di metalloenzimi, cofattori enzimatici e ormoni del sistema endocrino (National Research Council, 2001).

Una buona nutrizione con gli oligoelementi è difficile da attuare a causa del loro contenuto molto variabile negli alimenti. Secondo uno studio condotto da Adams (1975), lo zinco è l'oligoelemento più carente negli alimenti insieme a cobalto, rame, iodio e ferro; il manganese, invece, è il micro-minerale più presente. Generalmente si riscontra una carenza di micro-minerali nei foraggi di graminacee e leguminose (Dell'Orto e Savoini, 2007).

Nella lista dei micro-minerali essenziali comparirebbe anche il cromo, il quale, però, è vietato nell'alimentazione animale per evitarne eccessi nel latte o nella carne ([www.ruminantia.it](http://www.ruminantia.it)).

## 4.1 LE PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEI MICROMINERALI

	<b>FUNZIONI</b>	<b>EFFETTI IN CASI DI CARENZA</b>	<b>EFFETTI IN CASI DI ECCESSO</b>	<b>FONTI</b>
<b>FERRO</b>	- cofattore di molti enzimi - componente del gruppo EME (NRC, 2001)	/	- diminuzione dell'assorbimento di rame e zinco - diarree - infezioni batteriche (NRC, 2001)	- erba medica - buccette di soia - silomais (Hansen e Spears, 2009)
<b>COBALTO</b>	- fondamentale per la sintesi della vitamina B12 - funzione emopoietica - sintesi acidi nucleici - interviene nel metabolismo delle sostane proteiche (Cevolani et al. 2022) (Casper et al. 2021)	- mancata crescita - perdita di peso - fegato grasso - ridotta resistenza alle infezioni dovute ad una compromissione dei neutrofilo (NRC, 2001)	- minor ingestione - anemia - perdita di peso - ipercromia (NRC, 2001)	- povero negli alimenti
<b>IODIO</b>	- costituente degli ormoni tiroidei - regola la funzione tiroidea - regola i processi metabolici della crescita, riproduzione e lo sviluppo delle funzioni cerebrali (Franke et al. 2009)	- ipofertilità e sterilità - calori silenti - mortalità neonatale - aborti - problemi nel metabolismo di calcio e fosforo (Cevolani et al. 2022 )	- astenia - secrezione nasale e oculare - calo di produzione - tosse (NRC, 2001)	- alimenti di origine marina (es. litotamnio) - foraggi, ma dipende dalla concentrazione di iodio nel terreno (Cevolani et al. 2022) (NRC,2001)
<b>MANGANESE</b>	- costituente di molti enzimi - ruolo importante sull'apparato riproduttore - presiede lo sviluppo scheletrico - ruolo sulla funzionalità del sistema nervoso centrale (Cevolani et al. 2022 )	- accorciamento e deformità scheletriche - problemi con l'apparato riproduttore (NRC, 2001)	- anemia - debolezza muscolare - scarso appetito - danni epatici (Cevolani et al. 2022 )	- foraggi - paglia - tuberi (Cevolani et al. 2022)
<b>MOLIBDENO</b>	- componente di tre enzimi presenti nel latte (NRC, 2001)	/	- riduce l'assorbimento di rame	-le concentrazioni di molibdeno negli alimenti dipendono dal tipo di terreno (Axelson et al. 2018)
<b>RAME</b>	- componente di proteine plasmatiche e	- perdita di pigmentazione del	- emolisi - emoglobinuria	- il contenuto di rame negli

	<p>metalloenzimi</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- funzione emopoietica</li> <li>- aiuta a mobilizzare il ferro da milza e fegato</li> <li>- si occupa della formazione della mielina</li> <li>- importante per la formazione di tessuto connettivo</li> </ul> <p>(Cevolani et al. 2022 )</p>	<p>pelo</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- anemia</li> <li>- osteoporosi</li> <li>- insufficienza cardiaca</li> <li>- inefficienza riproduttiva</li> <li>- ridotta funzione immunitaria</li> </ul> <p>(NRC, 2001)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ittero</li> <li>- metaemoglobinemia</li> <li>- necrosi diffusa</li> </ul>	<p>alimenti dipende dalla sua concentrazione nel terreno</p> <p>(NRC, 2001)</p>
<b>SELENIO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sintetizza un enzima che in cooperazione con la vit. E protegge i fosfolipidi</li> <li>- costituente di diverse proteine</li> </ul> <p>(Cevolani et al. 2022)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ritenzione placentare, metriti e cisti ovariche</li> <li>- minor numero e motilità degli spermatozoi</li> </ul> <p>(Cevolani et al. 2022)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- zoppie</li> <li>- perdita di pelo</li> <li>- emaciazione</li> <li>- deformazione unghioni</li> </ul> <p>(Cevolani et al. 2022) (NRC, 2001)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prodotti di origine animale</li> <li>- granaglie (soprattutto grano duro)</li> </ul> <p>(Cevolani et al. 2022)</p>
<b>ZINCO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- componente di metalloenzimi</li> <li>- costituente dell'insulina</li> <li>- costituente degli spermatozoi</li> <li>- contribuisce alla formazione della cheratina</li> <li>- contribuisce alla sintesi degli acidi nucleici</li> </ul> <p>(NRC, 2001) (Cevolani et al. 2022)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- letargia</li> <li>- flogosi emorragiche boccali</li> <li>- rigidità delle articolazioni</li> <li>- fessurazioni cutanee sopra il cerchio coronario</li> <li>- lesioni podali</li> </ul> <p>(Cevolani et al. 2022)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- riduzione dell'assorbimento di rame</li> </ul> <p>(NRC, 2001)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tuberi</li> <li>- fieni</li> <li>- paglia</li> </ul> <p>(Cevolani et al. 2022)</p>

Tabella 6. Le funzioni, carenze, eccessi e fonti dei principali microminerali.

## 5. IL DCAD

Il concetto di DCAD (Dietary Cation-Anion Difference) è stato introdotto negli anni '70 da Ender con la seguente formula:  $(Na^+ + K^+) - (Cl^- + S^{2-})$  mEq/kg SS (Canzi, 2002; Zachwieja et al. 2022).

I minerali, che sono normalmente presenti negli alimenti o quelli introdotti tramite integratori, influiscono sul pH del sangue modificandone i valori e causano risposte fisiologiche differenti; dopo una serie di studi si è giunti alla conclusione che i quattro minerali che influiscono maggiormente sul bilanciamento della razione sono due cationi, sodio e potassio, e due anioni, cloro e zolfo.

Se si somministra una dieta più ricca di cationi che di anioni, si avrà un maggior effetto tampone del sangue che tratterrà più bicarbonato favorendo un aumento del pH di sangue e urine; al contrario, se si somministra una dieta più ricca di anioni si avrà una diminuzione dei livelli di bicarbonato che causano un abbassamento del pH di sangue e urine. Uno stato di acidosi subclinica, quindi con bassi livelli di pH di sangue e urine, è importante nella vacca da latte perché aiuta a prevenire l'ipocalcemia postparto.

Per capire se una dieta è bilanciata correttamente si ricorre alla tecnica XRF, che è una tecnica di analisi non distruttiva che permette di conoscere la composizione degli elementi atomici di un campione attraverso la quantificazione della radiazione di fluorescenza emessa (<https://www.lazoovet.it>), oltre che alla misurazione del pH delle urine e prelievi del sangue (Canzi, 2002; Cozzi, 2022).

Per il calcolo del DCAD bisogna moltiplicare il valore dello ione considerato, espresso in percentuale sulla sostanza secca, per il suo fattore di conversione (vedi Tabella 7) ottenendo, quindi, un valore in mEq/kg SS. Al termine di questa procedura sarà sufficiente inserire i valori espressi in mEq/kg SS nella formula per il calcolo del DCAD, ovvero  $(Na^+ + K^+) - (Cl^- + S^{2-})$  (Canzi, 2002).

MINERALE	PESO MOL. (gr)	VALENZA	PESO EQUIVALENTE (gr)	FATT. DI CONVERSIONE DA % A mEq/kg
SODIO	23	+1	23	435
POTASSIO	39.1	+1	39.1	256
CLORO	35.5	-1	35.5	282
ZOLFO	32	-2	16	624

Tabella 7. Le principali caratteristiche degli ioni utilizzati nel calcolo del DCAD. (da Canzi, 2002; mod.)



## 5.0.1 ESEMPIO DI CALCOLO DEL DCAD



### LABORATORIO ANALISI ZOOTECNICHE

di Mancinelli Dr Eugenio e Dr Marco s.a.s.  
V.le Marconi, 9 - 46023 GONZAGA (MN)  
Tel. 0376.528295 - Fax 0376.528362  
e-mail: info@lazoovet.it | www.lazoovet.it  
P.IVA e C.F.: 01649590203

Rapporto di prova n°:  
23/2211 Rev.0

A1-MQ-SEZ.5.10 Ed. 1 Rev.3  
Pagina 1 di 1

Azienda:	[REDACTED]	Riferimento:	[REDACTED]
Richiedente:	[REDACTED]		
Campione:	Unifeed lattazione		
Data Consegna:	02/02/2023	Data inizio analisi:	02/02/2023
N° ident. campione:	2211/1	Data fine analisi:	04/02/2023
		Campionamento: del Committente (consegna via corriere)	

PARAMETRO	METODO	Sul Tal Quale	Sul Secco	Unità di Misura
UMIDITA':	Stufa 65°C/16h (peso costante) post cutter	20,98		% (g/100g)
SOSTANZA SECCA:	per calcolo	79,02		% (g/100g)
PROTEINE GREZZE:	Spettroscopia NIR:	11,79	14,93	% (g/100g)
Solubilità della Proteina (Fraz. A1+A2):	Spettroscopia NIR:	28,56		%: N-sol/Ntot
Proteina legata alla ADF: Fraz. C	Spettroscopia NIR:	6,26		%: N-ADF/Ntot
AZOTO Ammon./AZOTO Tot.	Spettroscopia NIR:	1,35		%N tot
OLI E GRASSI GREZZI:	Spettroscopia NIR:	2,46	3,11	% (g/100g)
FIBRA GREZZA:	Spettroscopia NIR:	16,81	21,28	% (g/100g)
CENERI GREZZE:	Spettroscopia NIR:	6,42	8,12	% (g/100g)
aNDFom (senza ceneri):	Spettroscopia NIR:	29,75	37,65	% (g/100g)
ADFom (senza ceneri):	Spettroscopia NIR:	20,14	25,48	% (g/100g)
ADL -Lignina:	Spettroscopia NIR:	3,43	4,35	% (g/100g)
AMIDO:	Spettroscopia NIR:	16,98	21,49	% (g/100g)
ZUCCHERI:	Spettroscopia NIR:	4,55	5,76	% in glucosio
NFC (Carboidrati non Fibrosi):	Per calcolo (100-PG-LG-CEN-NDF)	28,60	36,19	% (g/100g)
Carboidrati Solub. (zucch. esclusi)	Per calcolo (NFC-Amido-MonoDi/Oligosaccaridi)	7,07	8,94	% (g/100g)
CALCIO (Ca):	Fluorescenza a Raggi X: Met. XRF	0,697	0,882	% (g/100g)
CLORO (Cl):	Fluorescenza a Raggi X: Met. XRF	0,603	0,763	% (g/100g)
POTASSIO (K):	Fluorescenza a Raggi X: Met. XRF	1,140	1,443	% (g/100g)
MAGNESIO (Mg):	Fluorescenza a Raggi X: Met. XRF	0,217	0,275	% (g/100g)
SODIO (Na):	Fluorescenza a Raggi X: Met. XRF	0,247	0,313	% (g/100g)
ZOLFO (S):	Fluorescenza a Raggi X: Met. XRF	0,182	0,231	% (g/100g)
FOSFORO (P):	Fluorescenza a Raggi X: Met. XRF	0,246	0,311	% (g/100g)
FERRO (Fe):	Fluorescenza a Raggi X: Met. XRF	328,5	415,7	ppm (mg/kg)
RAME (Cu):	Fluorescenza a Raggi X: Met. XRF	21,6	27,3	ppm (mg/kg)
ZINCO (Zn):	Fluorescenza a Raggi X: Met. XRF	92,2	116,7	ppm (mg/kg)
MANGANESE (Mn):	Fluorescenza a Raggi X: Met. XRF	108,8	137,7	ppm (mg/kg)
SILICIO (Si):	Fluorescenza a Raggi X: Met. XRF	0,47	0,60	% (g/100g)
DCAD (Ender 1971):	Calcolo: (Na+K)-(Cl+S); Ender et al. 1971		14,61	m. eq/100g

-Tabelle XRF (X-Ray Fluorescence spectroscopy) del Laboratorio. Il campione viene tenuto 30 gg dal suo arrivo-Calibrazione NIR del Laboratorio. Il campione viene tenuto per 30 gg dal suo arrivo.

Gonzaga, 04/02/2023

Il Responsabile Area  
La Direzione Tecnica  
Dott. Marco Mancinelli



Figura 4. Analisi XRF di una razione per vacche in lattazione

In questo esempio che si riferisce ad un campione di unifeed per vacche in lattazione, è stata utilizzata la formula:  $(\%Na\ SS \times 435 + \%K\ SS \times 256) - (\%Cl\ SS \times 282 + \%S\ SS \times 624) =$

Innanzitutto è necessario calcolare i valori percentuali sulla SS di sodio, potassio, cloro e zolfo ottenuti attraverso l'analisi XRF e sostituirli nella formula del DCAD.

$$\begin{aligned} \text{DCAD:} & \quad (0,313 \times 435 + 1,443 \times 256) - (0,763 \times 282 + 0,231 \times 624) = \\ & \quad (136,16 + 369,41) - (215,17 + 144,14) \\ & \quad 505,57 - 359,31 = \underline{146,26 \text{ mEq/kg SS}} \end{aligned}$$

## 5.1 LA GESTIONE DEL DCAD IN ASCIUTTA

Il periodo di transizione, tre settimane prima e tre settimane dopo il parto, comporta grandi cambiamenti nell'organismo della vacca che devono essere seguiti da una corretta modifica dell'alimentazione (Ronchi et al., 2020). La malattia metabolica più importante nel periparto è l'ipocalcemia, e un modo per prevenirla risulta essere una corretta gestione del DCAD (Zachwieja et al., 2022). Il metodo più utilizzato per prevenire l'ipocalcemia consiste nella somministrazione, agli animali, di razioni con bassi livelli di calcio, ma talvolta questo può risultare complicato perché vengono acquistati dei mangimi preparati con quantità di calcio già incluse. Il metodo più sicuro risulta, quindi, essere la gestione dell'equilibrio cationi-anioni in favore degli anioni, creando quindi uno stato di lieve acidosi metabolica all'interno dell'organismo (Rezac e Bradford, 2009).

Uno stato di alcalosi metabolica, infatti, interferisce con il corretto funzionamento dell'ormone paratiroideo; questo provoca un mancato allenamento di tale ormone e un minor riassorbimento di calcio osseo che favorisce l'insorgenza dell'ipocalcemia (Zachwieja et al., 2022).

pH Urinario	DCAD	Equilibrio acido-base	Disponibilità di calcio
Da 8,0 a 7,0	Positivo (>0 mEq/kg)	Alcalosi	Bassa calcemia, quindi elevato rischio di ipocalcemia
Da 6,6 a 5,5	Negativo (<0 mEq/kg)	Lieve acidosi	Normale calcemia
< 5,5	Molto negativo	Sovraccarico renale	

Tabella 8. Correlazione tra pH urinario e rischio ipocalcemico. (da Cozzi, 2022; mod.)

La Tabella 8 dimostra come il pH influenza la calcemia di una bovina; quindi, il pH delle urine in una vacca in asciutta dovrebbe stare in un range tra 5,5 e 6,5 così da prevenire il fenomeno dell'ipocalcemia. Secondo diversi studi il DCAD di una dieta per vacche in asciutta dovrebbe attenersi su valori compresi fra -100 e 0 mEq/kg SS (Goff et al., 2020).

Per abbassare il DCAD di una razione bisogna utilizzare alimenti che siano poveri di sodio e potassio, ovvero i due cationi più importanti. Normalmente si utilizza il mais, o i suoi derivati come il silomais, visto la sua carenza in potassio e l'elevata energia che apporta alla vacca, aiutando così a prevenire un'altra malattia metabolica del periparto come la chetosi (Cozzi, 2022). Nei casi più gravi si passa alla somministrazione di sali anionici che hanno il compito di favorire la mobilizzazione di calcio osseo e l'assorbimento di calcio alimentare promuovendo l'attivazione dell'ormone paratiroideo, della calcitonina e della vitamina D<sub>3</sub>. I sali anionici, quindi quelli a base di zolfo e cloro, sono inappetibili per gli animali per cui risultano di difficile somministrazione; le ditte mangimistiche hanno ovviato a questo problema inserendo questi Sali con appetizzanti molto costosi (Cozzi, 2022). Nella Tabella 9 sono riportati i principali Sali anionici utilizzati nell'alimentazione bovina.

Nome del sale anionico	Formula chimica
Solfato di magnesio	MgSO <sub>4</sub>
Cloruro di magnesio	MgCl <sub>2</sub>
Cloruro d'ammonio	NH <sub>4</sub> Cl
Solfato d'ammonio	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Cloruro di calcio	CaCl <sub>2</sub>
Solfato di calcio	CaSO <sub>4</sub>

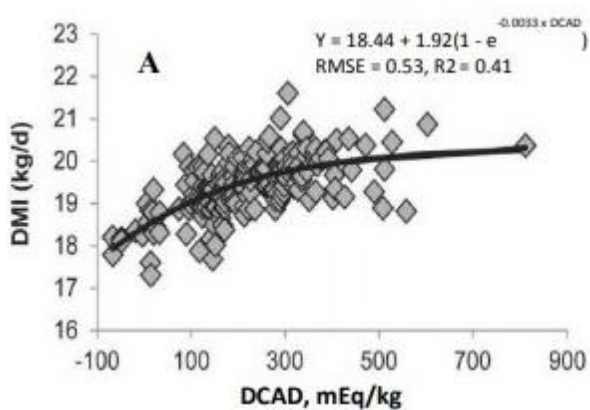
Tabella 9. I principali Sali anionici nell'alimentazione bovina. (da Rezac e Bradford, 2009; mod.)

L'alimentazione delle vacche in asciutta con elevate quantità di foraggi è sconsigliata visto l'alta concentrazione di potassio; a tal proposito sono stati condotti degli studi che dimostrano che sospendere le concimazioni potassiche a favore di fertilizzanti a base di cloro diminuiscono il livello di DCAD senza intaccare la resa e il contenuto di proteine e NDF dei foraggi. Ad oggi però non esistono ancora studi che dimostrano variazioni di appetibilità di questi foraggi (Horst et al. 2006; 2008).

## 5.2 LA GESTIONE DEL DCAD IN LATTAZIONE

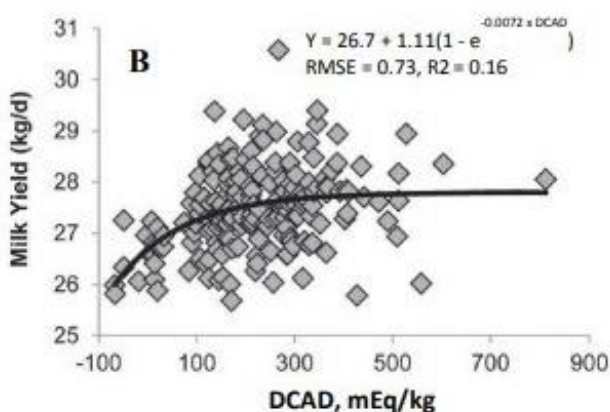
Lo studio del DCAD è nato esclusivamente con lo scopo di aggiustare l'alimentazione delle bovine in asciutta cercando di prevenire l'ipocalcemia, ma negli ultimi anni si è iniziato a studiare il DCAD e i suoi effetti nelle diete per vacche in lattazione (Iwaniuk ed Erdman, 2015). La formula per il calcolo del DCAD in lattazione è leggermente diversa, ovvero  $(Na^+ + K^+) - (Cl^- - 0,6 \times S^{2-})$  ([www.ruminantia.it](http://www.ruminantia.it) - 2018).

Rispetto al DCAD in asciutta, che assume valori negativi, quello in lattazione si attesta a circa +350 mEq/kg SS (Hu e Murphy, 2004). Uno studio condotto da Iwaniuk e Erdman (2015) ha dimostrato che un DCAD alto in lattazione ha effetti positivi sull'ingestione, sulla produzione di latte, la composizione del latte e la digeribilità degli alimenti.



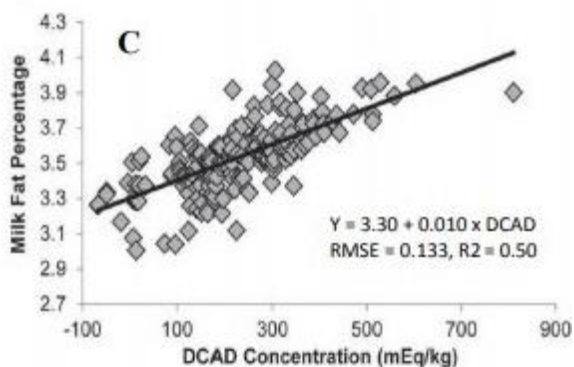
Il Grafico 2 dimostra come all'aumentare del DCAD aumenta anche l'ingestione di sostanza secca. Infatti, in una dieta con DCAD basso, e quindi con la presenza di Sali anionici, l'ingestione è più bassa a causa dell'inappetibilità di quest'ultimi (Gelfert et al. 2007).

Grafico 2. La relazione tra il DCAD e l'ingestione (da <https://ruminantiamese.ruminantia.it/dcad-e-potassio-non-solo-in-asciutta/>)



Il Grafico 3 mostra come all'aumentare del DCAD la produzione di latte aumenti gradualmente raggiungendo un picco verso +400 mEq/kg SS per poi rimanere piuttosto stabile per valori superiori.

Grafico 3. La relazione tra il DCAD e la produzione di latte (da <https://ruminantiamese.ruminantia.it/dcad-e-potassio-non-solo-in-asciutta/>)



il Grafico 4 dimostra come all'aumentare del DCAD aumenta linearmente anche la percentuale di grasso nel latte, parametro che è molto importante nel processo di caseificazione e nel pagamento del latte qualità.

Grafico 4. La relazione tra il DCAD e la percentuale di grasso nel latte (da <https://ruminantiamese.ruminantia.it/dcad-e-potassio-non-solo-in-asciutta/>).

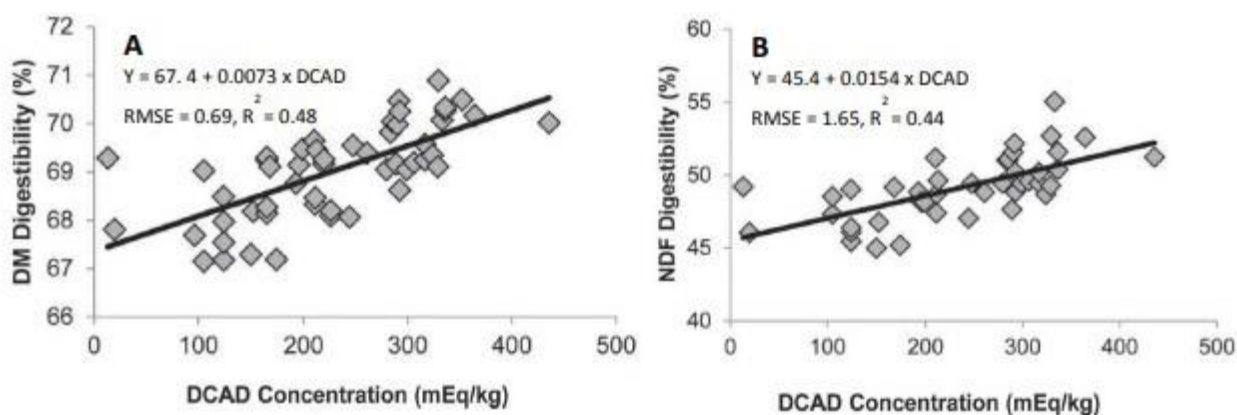


Grafico 5. La relazione tra il DCAD e digeribilità della sostanza secca (A) e tra il DCAD e digeribilità dell'NDF.

Il Grafico 5 dimostra come all'aumentare del DCAD aumenti anche la digeribilità; è possibile spiegare questo fenomeno perché a +400 mEq/kg SS l'organismo si trova in uno stato di alcalosi metabolica e in un ambiente basico i batteri cellulolitici sono più efficienti (da [www.ruminantia.it](http://www.ruminantia.it), 2018).

È stato recentemente introdotto il concetto di DCAD-S (Dietary Cation-Anion Difference-sulfur); per poter applicare tale formula è necessario avere note le concentrazioni minerali esatte nei foraggi e negli integratori utilizzati in azienda. È possibile poi caricare questi dati in particolari software che formulano la giusta razione da somministrare alla mandria e dopo 15 giorni di somministrazione di questa nuova dieta è possibile fare dei campionamenti per verificare se le produzioni di latte e di grasso sono aumentate ([www.ruminantia.it](http://www.ruminantia.it), 2023).

## 6. CONCLUSIONI

In conclusione, la presente tesi ha analizzato l'importanza dei minerali nell'alimentazione della vacca da latte e il loro ruolo essenziale nel mantenimento della salute, della produzione e qualità del latte e dell'efficienza riproduttiva.

Nonostante i minerali rappresentino solo il 4% del peso dell'organismo, svolgono una serie di funzioni che sono vitali per l'animale. La carenza o l'eccesso di minerali può avere conseguenze significative sulla salute e sul rendimento produttivo della mandria; pertanto, è importante che essi siano presenti in giuste quantità e in giusti rapporti tra di loro.

Tuttavia, come è stato approfondito in questa tesi, il campo della nutrizione minerale della vacca da latte è in continua evoluzione e ancora oggi sono in corso studi per determinare, ad esempio, meccanismi di assorbimento e interazione tra elementi.

Il DCAD, invece, è cruciale per la prevenzione dell'ipocalcemia; il calcolo del DCAD è stato negli ultimi anni facilitato grazie all'introduzione di innovativi sistemi di monitoraggio come l'XRF.

È stato dimostrato che in asciutta il DCAD dovrebbe avere valori prossimi o leggermente inferiori allo 0 perché uno stato di lieve acidosi metabolica incentiva il paratormone, la calcitonina e la vitamina D<sub>3</sub> nell'assorbimento intestinale e riassorbimento osseo di calcio.

Al contrario, nella fase di lattazione il DCAD dovrebbe assumere valori elevati, verso 350/400 mEq/kg perché ha effetti positivi sull'ingestione, la produzione e la qualità del latte.

## 7. BIBLIOGRAFIA

1. Adams, R. S. (1975). Variability in mineral and trace element content of dairy cattle feeds. *Journal of Dairy Science* 58:1538– 1548.
2. Axelson, U., Söderström, M., & Jonsson, A. (2018). Risk assessment of high concentrations of molybdenum in forage. *Environmental Geochemistry and Health*, 40(6), 2685–2694.
3. Bailoni L. (2021). Appunti di lezione dell'insegnamento di Nutrizione e Alimentazione degli Animali, Corso di Laurea in Scienze e Tecnologie Animali, Università di Padova. A.A. 2021-2022.
4. Berg M., Plöntzke J., Leonhard-Marek S., Müller K. E., Röblitz S. (2017). A dynamic model to simulate potassium balance in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100:9799–9814.
5. Canzi F. (2002). Bilanciamento anionico della razione per bovine in asciutta. Basi teoriche ed applicazioni pratiche. *Large Animals Review*, Anno 8, n. 6.
6. Casper D. P., Pretz J. P., Purvis H. T. (2021). Supplementing additional cobalt as cobalt lactate in a high-forage total mixed ration fed to late-lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science* 104:10669–10677.
7. Cevolani D., con la collaborazione di Bombardieri R., Carrescia R., Cinquanta M., Freddi V., Galli A., Gallo A., Pepe F. (2022). Alimenti per la vacca da latte e il bovino da carne – 150 schede per valutare materie prime e foraggi. Capitolo 5- I minerali. Editore Edagricole.
8. Correll D. L. (1998). The Role of Phosphorus in the Eutrophication of Receiving Waters: A Review. *Journal of Environmental Quality*, 27(2), 261–266.
9. Cozzi G. (2022). Appunti di lezione dell'insegnamento di Tecniche di Allevamento dei Bovini, Corso di Laurea in Scienze e Tecnologie Animali, Università di Padova A.A. 2021-2022
10. Dell'Orto V., Savoini G. (2007). Alimentazione della vacca da latte – gestione “responsabile” dell'alimentazione per ottenere latte di alto standard qualitativo. Capitolo 2.5 – I Minerali, editore Edagricole

11. Eisenberg, S. W. F., Ravesloot, L., Koets, A. P., & Grünberg, W. (2019). Effect of dietary phosphorus deprivation on leukocyte function in transition cows. *Journal of Dairy Science*, 102(2), 1559–1570.
12. Fiore E. (2023). Appunti di lezione dell'insegnamento di Prevenzione delle Malattie e Principi di Legislazione Veterinaria, Corso di Laurea in Scienze e Tecnologie Animali, Università di Padova. A.A. 2022-2023.
13. Franke K., Meyer U., Wagner H., Hopper H. O., Flachowsky G. (2009). Effect of various iodine supplementations, rapeseed meal application and two different iodine species on the iodine status and iodine excretion of dairy cows. *Livestock Science*, Volume 125, Issues 2–3, November 2009, Pages 223-231.
14. Gelfert C. C., Loeffler S. L., Fromer S., Engel M., Hartmann H., Manner K., Baumgartner W., Staufenbiel R. (2007). The impact of dietary cation anion difference (DCAD) on the acid-base balance and calcium metabolism of non-lactating, non-pregnant dairy cows fed equal amounts of different anionic salts. *Journal of Dairy Research*, Page 1 of 12.
15. Goff J. P., Hohman A., Timms L. L. (2020). Effect of subclinical and clinical hypocalcemia and dietary cation-anion difference on rumination activity in periparturient dairy cows. *Journal of Dairy Science* 103:2591–2601.
16. Goff, J. P. (2006). Macromineral physiology and application to the feeding of the dairy cow for prevention of milk fever and other periparturient mineral disorders. *Anim. Feed Sci. Technol.* 126:237–257.
17. Goff, J. P., Brummer, E. C., Henning, S. J., Doorenbos, R. K., & Horst, R. L. (2007). Effect of application of ammonium chloride and calcium chloride on alfalfa cation-anion content and yield. *Journal of Dairy Science*, 90(11), 5159–5164.
18. Grünberg, W., Scherpenisse, P., Cohrs, I., Golbeck, L., Dobbelaar, P., van den Brink, L. M., & Wijnberg, I. D. (2019). Phosphorus content of muscle tissue and muscle function in dairy cows fed a phosphorus-deficient diet during the transition period. *Journal of Dairy Science*, 102(5), 4072–4093.



19. Grünberg, Walter, Witte, S., Cohrs, I., Golbeck, L., Brouwers, J. F., Müller, A. E., & Schmicke, M. (2019). Liver phosphorus content and liver function in states of phosphorus deficiency in transition dairy cows. In PLoS ONE.
20. Hansen, S. L., & Spears, J. W. (2009). Bioaccessibility of iron from soil is increased by silage fermentation. *Journal of Dairy Science*, 92(6), 2896–2905.
21. Hernández-Castellano, L. E., Hernandez, L. L., & Bruckmaier, R. M. (2019). Review: Endocrine pathways to regulate calcium homeostasis around parturition and the prevention of hypocalcemia in periparturient dairy cows. *Animal*, 330–338.
22. Hill, S. R., Knowlton, K. F., Kebreab, E., France, J., & Hanigan, M. D. (2008). A model of phosphorus digestion and metabolism in the lactating dairy cow. *Journal of Dairy Science*, 91(5), 2021–2032.
23. Horst R. L., Goff J., Thoreson D. R., Moore K. J., Brummer E. C. (2006). Development of Methodologies to Reduce the DCAD of Hay Forages for Transition Dairy Cows. Iowa State Research Farm Progress Reports.
24. Horst R. L., Pecinovsky K. T., Goff J. (2008). Development of Methodologies to Reduce the DCAD of Hay Forages for Transition Dairy Cows. Iowa State Research Farm Progress Reports.
25. Hu W., Murphy M. R. (2004). Dietary Cation-Anion Difference Effects on Performance and Acid-Base Status of Lactating Dairy Cows: A Meta-Analysis. *Journal of Dairy Science* 87:2222–2229.
26. Iwaniuk M. E., Erdman R. A. (2015). Intake, milk production, ruminal, and feed efficiency responses to dietary cation-anion difference by lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 98:8973–8985.
27. Jeong, J. K., Choi, I. S., Moon, S. H., Kang, H. G., & Kim, I. H. (2018). Relationship between serum magnesium concentration during the transition period, peri- and postpartum disorders, and reproductive performance in dairy cows. *Livestock Science*, 213(April), 1–6.
28. Keanthao P., Goselink R. M. A., Dijkstra J., Bannink A., Schonewille J. T. (2021). Effects of dietary phosphorus concentration during the transition period on plasma calcium

concentrations, feed intake, and milk production in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 104:11646–11659.

29. Manuelian, C. L., Penasa, M., Visentin, G., Zidi, A., Cassandro, M., De Marchi, M. (2018). Mineral composition of cow milk from multibreed herds. *Animal Science Journal*, 89(11), 1622–1627.
30. Martens, H., & Stumpff, F. (2019). Assessment of magnesium intake according to requirement in dairy cows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 103(4), 1023–1029.
31. National Research Council. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition*. In *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*.
32. Nelson C.D., Bradford B.J. (2022). *Nutrition, Digestion and Absorption: Nutritional and Immunological Interactions in Encyclopedia of Dairy Sciences (Third Edition)*, Editors: Paul McSweeney, John McNamara, Academic Press.
33. Qian, K., Xu, J., Zu, H. chen, & Cong, Y. yan. (2020). Research progress of rumen hydrogen sulfide production in ruminants. *Animal Science Journal*, 91(1), 2–5.
34. Rezac D. J., Bradford B. J. (2009). *Effects of Acidified Fermentation By-Products and Prepartum DCAD on Feed Intake, Performance, and Health of Transition Dairy Cows*. Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports: Vol. 0: Iss. 2.
35. Rodríguez E. M., Arís A., Bach A. (2017). Associations between subclinical hypocalcemia and postparturient diseases in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100(9), 7427–7434.
36. Ronchi B., Savoini G., Trabalza Marinucci M. (2020). *Manuale di nutrizione dei ruminanti da latte*. Capitolo 5.2.2.4 - Minerali & Vitamine, editore Edises Università.
37. Schonewille, J. T. (2013). Magnesium in dairy cow nutrition: An overview. *Plant and Soil*, 368(1–2), 167–178.
38. Stelletta C. (2022) *Appunti di lezione dell'insegnamento di Tecnologie Riproduttive, Corso di Laurea in Scienze e Tecnologie Animali, Università di Padova A.A. 2022-2023*
39. Toteda F. (2015). *Lezioni di principi di nutrizione e alimentazione minerale*. Università di Bari.

40. Weiss W. P. (2017). A 100-Year Review: From ascorbic acid to zinc—Mineral and vitamin nutrition of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100 (12), 10045–10060.
41. Zachwieja A., Bodarski R., Pecka-Kiełb E., Wojtas E., Zielak-Steciwko A., Krol B., Tumanowicz J. (2022). The influence of dcad value in feed ration on hypocalcaemia during transition period in cows – Review. *Pak. J. Agri. Sci.*, Vol. 59(2), 181-186.

# SITOGRAFIA

- 1 <https://www.ruminantia.it/wp-content/uploads/2016/05/LA-CORRETTA-NUTRIZIONE-MINERALE-PARTE-DALLO-STUDIO-DEI-FABBISOGNI/> consultato il 28/06/2023
- 2 <https://ruminantiamese.ruminantia.it/la-nutrizione-macromineraale-i-parte/> consultato il 03/07/2023
- 3 <https://www.feedcentral.com.au/what-is-dcad-and-why-is-it-important/> consultato il 03/07/2023
- 4 <https://www.ruminantia.it/wp-content/uploads/2016/05/DISORDINI-MINERALI-NELLA-VACCA-E-CONSEGUENZE-DA-EVITARE.pdf> consultato il 07/07/2023
- 5 [https://vetjournal.it/images/archive/pdf\\_riviste/3593.pdf](https://vetjournal.it/images/archive/pdf_riviste/3593.pdf) consultato il 19/07/2023
- 6 <https://www.daniobuoli.com/2017/01/01/ipocalcemia-sub-clinica/> consultato il 25/07/2023
7. <https://ruminantiamese.ruminantia.it/dcad-e-potassio-non-solo-in-asciutta/> consultato il 11/08/2023
8. <https://www.ruminantia.it/per-non-impazzire-con-i-minerali-della-razione-usa-il-dcad-s-anche-in-lattazione/> consultato il 12/08/2023
9. <https://www.lazoovet.it/spettrofotometria-xrf/> consultato il 29/08/2023