

4. LA NUTRIZIONE OVVERO I PROCESSI METABOLICI ATTUATI DA UN ORGANISMO CHE CONSENTONO DI UTILIZZARE I PRINCIPI NUTRITIVI ASSUNTI CON GLI ALIMENTI

4.1 Le fermentazioni ruminali

La seconda masticazione o **masticazione mericica**, oltre a ridurre notevolmente le dimensioni delle fibre di foraggio, frantuma le pareti delle cellule vegetali. Ciò ha due importanti conseguenze:

- 1) viene facilitata la successiva fermentazione dei polisaccaridi strutturali fibrosi (cellulosa ed emicellulose) e non (sostanze pectiche) ad opera dei batteri cellulosolitici e pectinolitici; questi ultimi, infatti, devono entrare in contatto diretto con le sostanze che compongono la parete cellulare (i citati polisaccaridi), affinché gli enzimi che catalizzano le reazioni di fermentazione possano legarsi ai loro substrati, ossia alla cellulosa, alle emicellulose ecc. (Figura 4.1).
- 2) viene anche agevolata la fermentazione ruminale delle sostanze contenute nel citoplasma delle cellule vegetali (zuccheri, amido ecc.), poiché queste non sono più protette dalla parete cellulare.

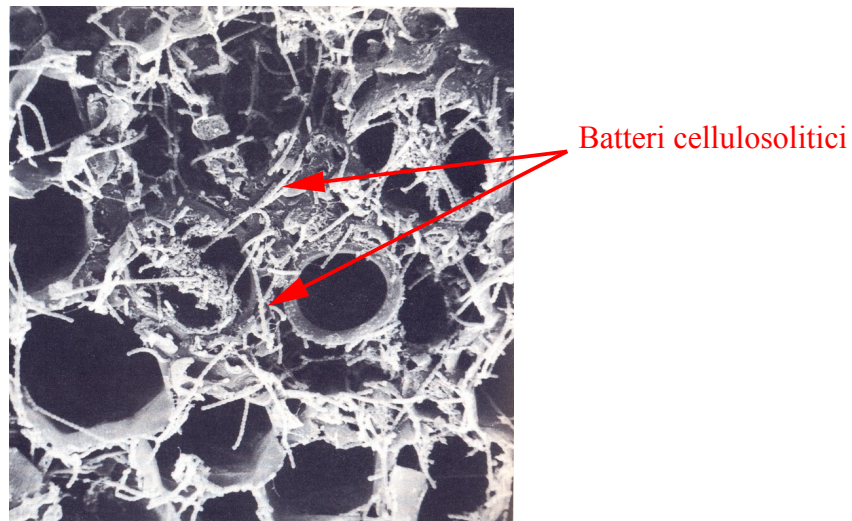


Figura 4.1 Frammento di fibra di foraggio osservato al microscopio elettronico a scansione. I buchi sono tutto ciò che rimane delle cellule vegetali in seguito alla fuoriuscita del citoplasma dovuta alla rottura delle pareti cellulari. Come si può osservare, i batteri cellulosolitici entrano in contatto fisico diretto con le pareti cellulari. Da Begon et al., 1989.

La simbiosi mutualistica tra l'organismo animale del ruminante ed i batteri che si insediano nel rumine durante lo svezzamento comporta uno scambio di sostanze tra i due contraenti la relazione: l'animale fornisce ai batteri diversi tipi di zuccheri, sia polisaccaridi strutturali fibrosi, ossia che fanno parte della cosiddetta «fibra», come la cellulosa e le emicellulose (contenute nelle pareti delle cellule vegetali) e le sostanze pectiche (che si trovano nella lamella mediana, uno strato che si trova all'esterno della parete cellulare stessa, e sono polisaccaridi strutturali non fibrosi) sia polisaccaridi di riserva come l'amido che si trova nel citoplasma delle cellule vegetali, sia mono-, di- ed oligosaccaridi

(zuccheri formati da ≤ 20 unità monosaccaridiche), contenuti nei foraggi e in alcuni sottoprodotti. I batteri fermentano tutte queste sostanze demolendole in condizioni di anaerobiosi (attraverso processi fermentativi) e le utilizzano sia come fonte di energia per supportare i propri processi vitali sia come fonte di catene di atomi di carbonio, precursori di tutti i composti organici che costituiscono la struttura della cellula batterica (proteine, vari tipi di zuccheri ecc.). In cambio i batteri stessi restituiscono all'ospite i prodotti finali di fermentazione, sostanze di scarto che essi non sono in grado di utilizzare, rappresentate soprattutto dal secondo, dal terzo e dal quarto della serie degli acidi organici (acido acetico, propionico e butirrico). Sebbene l'acetico sia il più abbondante, la proporzione con cui questi tre acidi si formano nel rumine, ossia le loro %, dipende dalla composizione della razione. Infatti i prodotti finali di fermentazione sono diversi in base al substrato di partenza; sebbene tutte le fermentazioni ruminali passino attraverso un intermedio comune, l'acido piruvico, si ottengono prodotti finali diversi:

- dalla demolizione dei polisaccaridi strutturali, fibrosi e non, si liberano gli acidi acetico e butirrico;
- da quella di amido, fruttani (polimeri del fruttosio) e zuccheri si ottiene l'acido propionico.

Ciò è verosimilmente dovuto al fatto che in un caso e nell'altro si formano due isomeri diversi dell'intermedio comune acido piruvico.

Come si è accennato, l'abbondanza relativa di questi tre acidi dipende dalla composizione della razione ma, generalmente, nelle razioni miste foraggi – concentrati, l'acido acetico è il prodotto di fermentazione più abbondante. Mentre per i batteri ruminali, che non tollerano l'acidità e comunque non sono generalmente in grado di fermentare gli acidi, questi prodotti di fermentazione costituiscono sostanze di scarto di cui i batteri si liberano rilasciandole nel rumine, per l'animale esse sono veri e propri nutrienti, che esso utilizza in vario modo dopo averli assorbiti attraverso l'epitelio ruminale. Il destino metabolico di ogni acido è, quindi, diverso:

- l'**acido butirrico** viene utilizzato come fonte di energia dalle cellule dell'epitelio ruminale, che lo ossidano ad acido β -idrossi-butyrico;
- l'**acido acetico** può sia essere utilizzato come fonte di energia (nei maschi e nelle femmine non in lattazione), sia come precursore del grasso del latte in queste ultime: nel secondo caso, l'acido acetico viene prelevato dal sangue ad opera delle cellule epiteliali secernenti degli alveoli mammari che lo utilizzano come composto di partenza per la sintesi degli acidi grassi (in un processo ciclico in cui ad ogni giro del ciclo viene aggiunto un nuovo atomo di C), i quali verranno, successivamente, esterificati con il glicerolo, un alcool con tre gruppi ossidrilici, per formare i trigliceridi, che sono la componente principale del grasso del latte;
- l'**acido propionico**, infine, viene utilizzato dai Ruminanti esclusivamente come fonte di energia; questi erbivori poligastrici, infatti, hanno una glicemia estremamente bassa, pari a circa la metà di quella degli altri Mammiferi, intorno a 50-60 mg/100 ml, che in un monogastrico sarebbe incompatibile con la sopravvivenza, comportando il coma ipoglicemico. Tutto ciò è dovuto al fatto che i Ruminanti, attraverso la mucosa (lo strato più interno della parete) dell'intestino tenue, possono assorbire soltanto quel poco glucosio derivante dalla digestione intestinale, catalizzata dall'enzima amilasi pancreatica, dell'amido sfuggito alle fermentazioni batteriche ruminali, e degli altri zuccheri che, in quantità minima, riescono a raggiungere l'intestino;

l'incompleta fermentazione dell'amido dipende dal fatto che i batteri amilolitici ruminali, così come i cellulolitici, hanno a disposizione un tempo limitato prima che il materiale alimentare abbandoni il rumine per proseguire nei prestomaci successivi. Quindi i Ruminanti, dovendo compensare tale ipoglicemia fisiologica, hanno evoluto la capacità di utilizzare come fonte di energia un substrato alternativo al glucosio, l'acido propionico, appunto. Di tutte le fonti energetiche della dieta, l'acido propionico è quella più prontamente utilizzabile, soprattutto nel caso di razioni ricche di amido: infatti tale acido viene prodotto rapidamente ed altrettanto rapidamente assorbito dal fegato (dopo essere passato nel sangue), dove viene convertito in acido ossalacetico, un intermedio del ciclo di Krebs, stimolando l'ossidazione dell'acetil-CoA e prevenendo, quindi, l'insorgere della chetosi (Allen et al. 2009). L'acido propionico viene prodotto principalmente dalla fermentazione ruminale dell'amido (Allen, 2014).

☑ Box 4.1 La regolazione della glicemia nei mammiferi

Nei mammiferi la glicemia è regolata dall'**insulina**, un ormone proteico secreto dalla parte endocrina del pancreas (una ghiandola annessa al tubo digerente e situata nella cavità addominale) e costituito da due catene polipeptidiche, A e B, di 21 e 30 amminoacidi rispettivamente, collegate fra loro da due ponti disolfuro (legami in cui un atomo di S fa da ponte).

Il principale fattore di regolazione dell'insulina è il tasso ematico del glucosio:

- l'iperglicemia attiva la secrezione di insulina;
- l'ipoglicemia la inibisce.

l'insulina ha effetto ipoglicemizzante, ossia riduce la glicemia, attraverso l'attivazione di meccanismi di trasporto attivo del glucosio (ossia di «canali» che permettono a questo monosaccaride di attraversare le membrane cellulari), grazie ai quali le cellule dei tessuti possono assorbire il glucosio stesso per utilizzarlo come fonte di energia attraverso la **glicolisi anaerobia**, cioè la sua demolizione in assenza di ossigeno. Quindi, le cellule dei tessuti «ordinari» (muscolare ed adiposo soprattutto) possono assorbire glucosio dal sangue solo se la sua concentrazione è alta, come avviene dopo un pasto.

Le cellule nervose, invece, non dipendono dalla presenza dell'insulina per assumere glucosio dal sangue; in questo modo, il rifornimento di energia al cervello è assicurato sempre, anche se la glicemia è bassa, come in caso di digiuno, quando il trasporto del glucosio attraverso le membrane plasmatiche delle cellule degli altri tessuti viene bloccato. Ciò fa sì che lo scarso glucosio disponibile venga dirottato verso il sistema nervoso, che consuma una grande quantità di energia per il proprio normale funzionamento. Fa eccezione una zona dell'ipotalamo (una parte del cervello) in cui si trova il centro della sazietà: l'insulina favorisce il passaggio del glucosio dal sangue ai neuroni di questo centro, inducendo un senso di sazietà.

L'azione dell'insulina è antagonizzata dal **glucagone**, un ormone proteico costituito da una catena polipeptidica di 29 amminoacidi, prodotto dalle cellule A delle isole pancreatiche. Tale ormone, attivando la lisi del glicogeno (un polisaccaride di riserva presente soprattutto nel fegato e nei muscoli scheletrici), nonché bloccando l'ingresso del glucosio ematico nelle cellule di questi stessi tessuti, contribuisce a mantenere la glicemia su valori (relativamente, nei ruminanti) elevati, necessari a rifornire di energia le cellule del sistema nervoso centrale.

4.1.1 Aspetti pratici

Nella pratica professionale del tecnico alimentarista si possono verificare i seguenti casi:

1) latte troppo magro ($< 3,5\%$ o 35 g di grasso / kg di latte): in questo caso, siccome la $>$ parte delle stalle da latte della Pianura Padana è destinato alla trasformazione casearia, e dal tenore in grasso del latte dipende, almeno in parte, la resa del latte in formaggio, il caseificio penalizzerà il proprio fornitore pagando di meno il latte, per esempio decurtando il prezzo di un centesimo per kg di latte fatturato (può sembrare una differenza irrilevante, ma 1 cent / kg di latte significa un euro per quintale e, in una partita da 50 q.li al giorno, come quella prodotta da molte stalle di dimensioni medio-grandi nelle nostre zone, comporterebbe un mancato ricavo di 1 euro / q.le al giorno e, dunque, di 1500 euro al mese). In questi casi, dal momento che la composizione del latte non dipende dalla genetica degli animali (pur essendoci razze che producono un latte con un tenore di grasso $> 4\%$ ma non sono molto diffuse in quanto meno produttive della frisona e della bruna) ma dall'alimentazione, il tecnico deve modificare la razione aumentando le fonti di fibra. Queste ultime sono rappresentate soprattutto dai foraggi, freschi (erba), insilati (trinciato di mais o di sorgo o pastone di mais) e da alcuni sottoprodotti. In realtà, almeno in Italia il ricorso all'erba è estremamente raro a causa della difficoltà di inserire in una razione un alimento la cui composizione chimica cambia continuamente nel tempo in base alla fase fenologica in cui l'erba stessa si trova quando viene consumata (argomento che verrà esaurientemente approfondito in seguito); pertanto le fonti di fibra più spesso utilizzati sono i fieni (di prato stabile, di loiessa ecc.) e, soprattutto, il silomais. Quest'ultimo foraggio insilato viene generalmente fornito alle bovine da latte in lattazione allevate nella zona di produzione del Grana Padano (in pratica, tutto il Norditalia ad eccezione delle zone di produzione del Parmigiano Reggiano e del Trentingrana) in grandi quantità, anche 20-25 kg al giorno, poiché è quasi sempre prodotto nell'azienda a costi relativamente bassi, soprattutto per le rese elevatissime che si possono realizzare nelle zone irrigue di pianura [fino a 600 q.li di tal quale per ha che, considerando che quando la pianta viene sfalciata, allo stadio di maturazione cerosa della granella (la cariosside ha la consistenza della cera e si lascia incidere con l'unghia) ha un tenore di sostanza secca intorno al $33\div 40\%$, si traducono in almeno $200\div 240$ q.li di sostanza secca; la pianta viene sfalciata all'altezza di circa 40 cm dal suolo per ridurre la contaminazione del prodotto con particelle di terriccio e successivamente sottoposta a trinciatura; quindi si procede con lo stoccaggio del trinciato in sili a trincea e con la sua compressione per favorire l'eliminazione dell'aria dagli interstizi fra le fibre di foraggio, affinché si possano realizzare condizioni di anaerobiosi che favoriscano l'innescare di reazioni di fermentazione lattica le quali, provocando un'acidificazione della massa del foraggio ed il conseguente blocco dell'attività batterica, ne consentono la conservazione per tempi piuttosto lunghi]. Convienne, tuttavia, aumentare l'apporto di fieno, che ha una sostanza secca molto più elevata ($\sim 85\%$) ed essendo più ricco di fibra, è più efficace nell'aumentare il grasso del latte.

2) Bilancio energetico negativo: è necessario aumentare l'apporto di energia, fornita soprattutto dai cereali in granella, anche sottoposti a vari trattamenti termomeccanici, da cui si producono i cosiddetti «alimenti concentrati» o mangimi.

Tuttavia le cose non sono così semplici: infatti, non ci si può limitare ad aumentare l'apporto di un qualsivoglia alimento senza contestualmente diminuire l'apporto di una pari quantità di sostanza secca di uno o più altri alimenti, altrimenti si supererebbe la capacità di ingestione dell'animale (la quantità di sostanza secca che esso è in grado di ingerire nell'arco della giornata, che dipende dalle dimensioni del rumine), con la conseguenza che la razione non verrebbe consumata interamente ma ne residuerebbe un

po» in mangiatoia, e ciò provocherebbe dei problemi nella stagione calda. In pratica, il refuso in mangiatoia, ossia la quantità di razione residua che non è stata consumata, va incontro a processi di fermentazione o di respirazione cellulare, attuati da batteri anaerobi ed aerobi, rispettivamente, con la conseguente produzione di calore: la miscelata «si scalda». Oltre ad essere caratterizzata da una minore appetibilità, un *unifeed* («piatto unico», sinonimo di razione alimentare mista foraggi-concentrati o *Total Mixed Ration*, TMR) parzialmente fermentato può causare l'assorbimento, attraverso la parete del rumine, di sostanze tossiche che interferiscono con la circolazione periferica, in particolare negli organi sottoposti alle più intense sollecitazioni funzionali, come le mammelle ed i piedi: aumenta, così, la frequenza di mastiti (processi infiammatori a carico dell'apparato mammario) e di zoppie.

Non solo, ma si dovrebbe anche decidere l'apporto di quale alimento diminuire.

Generalmente, per poter aumentare l'apporto energetico e proteico viene ridotta la quantità di foraggio della razione, per es. di fieno; la strategia adottata dai tecnici alimentaristi è quella di compensare il mancato guadagno derivante dall'inevitabile calo della concentrazione lipidica del latte grazie all'incremento della quantità di latte prodotta; infatti, l'elevatissima potenzialità produttiva (attitudine genetica a produrre un'enorme quantità di latte) delle BLAP si può esprimere pienamente solo a condizione che gli altrettanto elevati fabbisogni di energia e proteina vengano soddisfatti. Gli animali, quindi, produrranno un latte leggermente meno grasso che, quindi, verrà pagato alla stalla 1 € / q.le in meno (per es.), ma ne produrranno di più.

COLLABORAZIONE S.A.T.A.

● ANALISI DI UNA STALLA ESEMPLARE

Come arrivare a produrre 40 kg di latte per vacca



Alla domanda su come gestire al meglio il personale, l'allevatore ritiene che un passo importante sia quello di delegare alcune mansioni e, soprattutto, adottare protocolli di lavoro semplici e ripetibili

di Michele Campiotti

Mosè Leoni, insieme ai suoi due fra-

Una stalla vicino a Bergamo ha raggiunto tra maggio e giugno i 40 kg/capo. L'allevatore ci spiega come ha migliorato la gestione, le performance produttive e la riproduzione della propria stalla aumentando il fatturato del 25% in due anni

ci hanno cresciuto, insieme alle nostre sorelle, trasmettendoci la passione per questo lavoro. Da nostro padre abbiamo imparato l'umiltà, il rispetto e l'impegno sul lavoro, mentre nostra madre ci ha sempre incitato al miglioramento, all'aggiornamento, all'istruzione e ad avere una visione futura delle scelte: lei è stata senza dubbio una donna molto intraprendente e coraggiosa. Come succedeva in altre famiglie contadine, anche noi siamo stati coinvolti fin da piccoli nelle attività lavorative e nelle decisioni che riguardavano l'azienda. Il nostro obiettivo è sempre stato quello di avere un'azienda ben strutturata e ben organizzata, in grado di com-

Figura 4.2 All'aumento del fatturato non corrisponde, necessariamente, un proporzionale incremento degli utili se non si riesce a tenere sotto controllo i costi di produzione. Da https://www.aral.lom.it/public/upload/file/Pubblicazioni_Articoli/29018sup-Produrre40kgLatteCampiotti.pdf.

L'approccio mirato alla massimizzazione della produzione (Figura 4.2) è, tuttavia, sconsigliabile, soprattutto perché non tiene conto dell'inevitabile peggioramento dell'efficienza aziendale. La legge dei rendimenti decrescenti implica che ogni quintale di latte che la stalla fattura in più la giorno venga prodotto a costi crescenti, non solo per l'aumentato costo di mantenimento dovuto al fatto che si devono acquistare quantità maggiori di alimenti concentrati ma anche per l'incremento delle spese in farmaci e in assistenza medico-veterinaria: le bovine, sottoposte ad uno sforzo produttivo maggiore, saranno più suscettibili di ammalarsi, soprattutto a causa dell'immunodepressione causata dallo stress funzionale a cui il loro organismo è sottoposto. Si assisterà, così, ad un aumento dell'incidenza di problemi sanitari di varia natura, che rappresentano altrettante cause di **riforma** (Figura 3.5). Ciò comporterà una

riduzione della longevità degli animali (Figura 4.3) ed il conseguente aumento della **quota di rimonta**, ossia della % di bovine che ogni anno raggiunge la fine della carriera produttiva e dev'essere sostituita con animali giovani (manze).

L'INFORMATORE AGRARIO
A CREMONA

• INTERVALLO PARTO-CONCEPIMENTO, IPOFERTILITÀ, CAMBIAMENTI FISIOLGICI

Perché le vacche italiane sono sempre meno longeve

Nel 2007 la percentuale di vacche uscite dalle aziende è stata del 27,5% con un'età media in stalla di 44,5 mesi e un intervallo parto-concepimento di 171,6 giorni: performance deludenti. Gli allevatori vogliono capire le cause di questo fenomeno e come porvi rimedio

di Alessandro Fantini

Per molti anni in Italia la tendenza è stata quella di misurare le prestazioni degli allevamenti solo tramite la produzione di latte, con un occhio particolare alle classifiche. Questa competizione ha stimolato molto gli allevatori a fare tutte quelle scelte

passando da 8.194 kg nel 1998 a 9.052 kg nel 2007.

Tale produzione, unitamente a una percentuale di grasso del 3,68% e di proteine del 3,34%, ci rende di diritto una delle Nazioni al mondo a maggiore produttività. Se c'è da sentirsi orgogliosi per questi caratteri produttivi, altrettanto non si può dire per i cosiddetti caratteri

anni d'età è molto costoso, come oneroso ne è l'acquisto. Vacche che alla fine della seconda lattazione o al massimo all'inizio della terza vengono riformate, spesso per problemi sanitari, hanno appena iniziato a creare quel valore aggiunto che ne giustifica l'allevamento. Analizzando i dati della Frisone Italiana osserviamo che nel 2007 la percentuale di animali usciti dalle aziende è del 27,5% con un'età media delle vacche in stalla di 44,5 mesi e un intervallo parto-concepimento di 171,6 giorni.

Rispetto al 2004, ossia quattro anni prima, la situazione non si è evoluta così positivamente come era ragionevole attendersi. L'età al parto è addirittura calata di 15 giorni, mentre l'intervallo parto-concepimento è migliorato di soli 2,3 giorni. Le ragioni di queste performance

Figura 4.3 L'efficienza delle moderne stalle da latte continua ad essere condizionata dalla scarsa fertilità delle bovine.

Da <https://archivio2023-2024.ruminantia.it/wp-content/uploads/2016/05/PERCHELE-VACCHE-ITALIANE-SONO-SEMPRE-MENO-LONGEVE.pdf>.

4.2 Il ruolo della fibra nella prevenzione dell'acidosi ruminale

Un altro problema è rappresentato dal fatto che se la razione è povera di fibra, poiché la quantità di fieno è stata ridotta per poter aumentare l'apporto energetico e quello proteico, la secrezione salivare non sarà adeguatamente stimolata, cosicché la quantità di saliva prodotta non risulterà sufficiente a scongiurare il rischio di **acidosi ruminale**. Si tratta di un disturbo metabolico conseguente al fatto che non tutti gli ioni H^+ , che si liberano costantemente nel succo ruminale dalla parziale dissociazione dei prodotti di fermentazione, di cui i più importanti sono i già citati acidi organici a catena corta acetico, propionico e butirrico, potranno essere rimossi dal liquido ruminale stesso (che è una soluzione acquosa), attraverso la loro reazione con gli anioni basici contenuti nella saliva, dal momento che quest'ultima viene prodotta in quantità insufficiente (Figura 4.4).

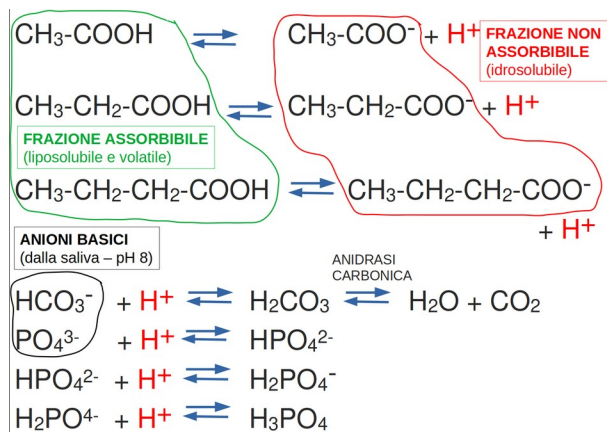


Figura 4.4 Il sistema tampone del rumine.

Sebbene gli Acidi Grassi Volatili (AGV), acetico, propionico e butirrico, vengano prodotti continuamente nel rumine ed altrettanto continuamente assorbiti attraverso la parete del prestomaco, la loro concentrazione e, quindi, il pH ruminale, non è costante ma subisce oscillazioni nel corso della giornata, legate alla frequenza della distribuzione degli alimenti (Figura 4.5).

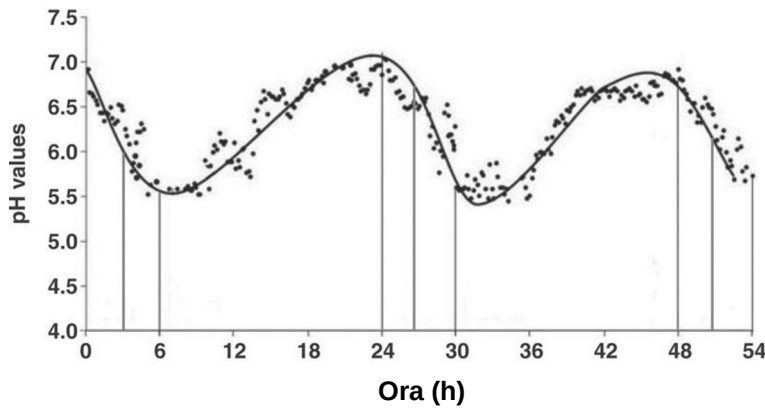


Figura 4.5 Profilo ruminale di una vacca da latte; i valori massimi di pH si osservano subito prima dei pasti, mentre quelli minimi da 6 a 7 ore dopo. Le linee verticali indicano i momenti in cui furono effettuati i prelievi di contenuto ruminale per determinare la composizione della comunità microbica.
Da Palmonari *et al.*, 2010.

In bovine alimentate una volta al giorno il pH del rumine diminuisce dopo il pasto per alcune ore, per poi aumentare nuovamente a causa dell'assorbimento dei VFA e della produzione di saliva legata alla ruminazione. Senza un adeguato sistema tampone, infatti, la concentrazione ruminale dei VFA sarebbe troppo elevata ed il pH ruminale, quindi, troppo basso, attestandosi su valori, < 5.8, incompatibili con la sopravvivenza dei batteri endosimbionti, in particolare di quelli cellulolitici, particolarmente sensibili alle variazioni di pH.

Il rischio di acidosi è maggiore qualora la razione apporti elevate quantità di alimenti concentrati ricchi di amido facilmente fermentescibile, come i cereali in granella sottoposti a particolari trattamenti termo-meccanici, come la fiocatura e l'estrusione, i quali, provocando la gelatinizzazione e la destrinizzazione dell'amido¹, lo rendono più facile da fermentare per i batteri. Si formeranno, così, quantità crescenti di acido lattico (Figura 4.6).

¹ Si veda più avanti.

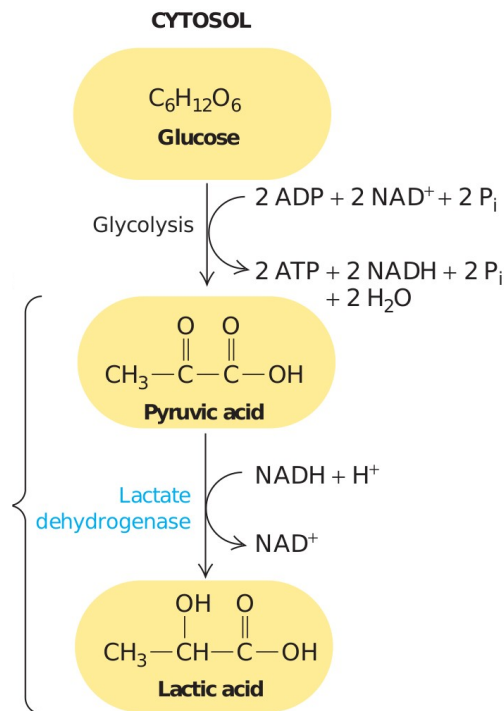
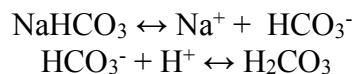


Figura 4.6 La riduzione dell'acido piruvico ad acido lattico.

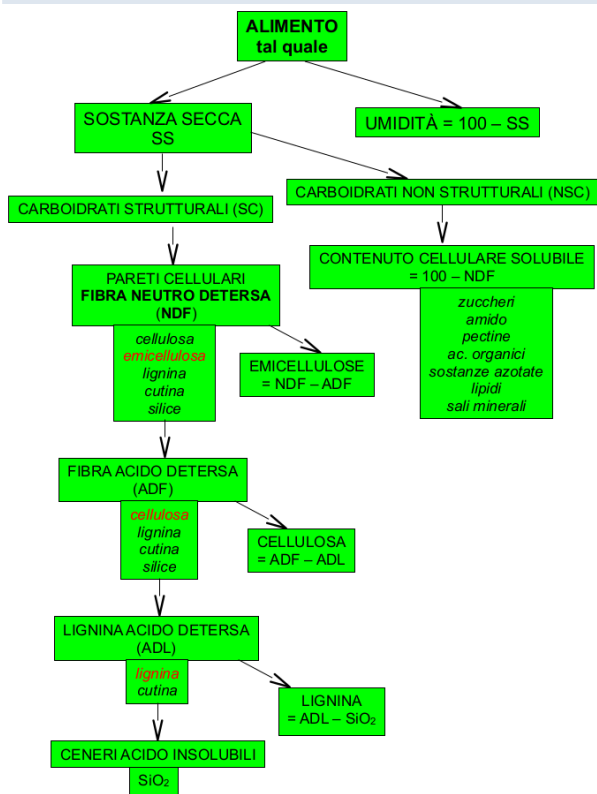
L'elevata densità energetica (quantità di alimenti ricchi di energia sotto forma di amido come i cereali, soprattutto se trattati), necessaria per supportare livelli produttivi di 30÷40 litri di latte al giorno per capo, comporta il rischio di acidosi, dal momento che razioni alimentari che siano in grado di soddisfare l'elevatissimo fabbisogno energetico non possono essere equilibrate ma sono necessariamente carenti di fibra.

Per prevenire l'insorgenza dell'acidosi ruminale si ricorre, di solito, all'aggiunta di bicarbonato di sodio (NaHCO_3) a razioni povere di fibra; nel rumine, allora, si svolgeranno le seguenti reazioni:



L'ultima reazione è catalizzata dall'enzima anidraasi carbonica, prodotto da alcuni batteri ruminanti; il risultato netto è che la $[\text{H}^+]$ si riduce ed il pH aumenta.

☑ Box 4.2 L'NDF



Il metodo di Van Soest prevede la separazione della fibra in tre frazioni.

La **fibra resistente al detergente neutro** o **NDF** (*Neutral Detergent Fiber*) fornisce una misura accurata dei componenti della parete cellulare vegetale (*Cell Wall Constituents*). Il campione di alimento viene estratto a caldo per un'ora con 100 ml di una soluzione neutra di un detergente (il lauril solfato di Na associato ad altri reagenti), filtrato, lavato e sottoposto ad essiccazione del residuo. La Sostanza Secca (S.S.) degli alimenti viene così suddivisa in due parti che corrispondono, dal punto di vista nutrizionale, a quella utilizzabile attraverso i normali processi digestivi (*Neutral Detergent Solubles*) ed a quella (parziale) disponibilità della quale dipende da processi fermentativi microbici (NDF). L'NDF non è composto solo da cellulosa, emicellulosa e lignina ma anche da proteine associate alle pareti cellulari, cutina e ceneri.

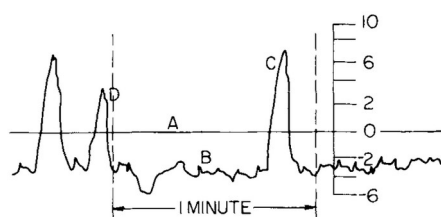
La fibra resistente al detergente acido o ADF (*Acid Detergent Fiber*) è prevalentemente costituita da cellulosa e lignina e, in misura minore, da cutina, sostanze azotate, pentosani e ceneri.

Il campione viene trattato con una soluzione 1 N di H₂SO₄ contenente il detergente bromuro di cetiltrimetilammonio, mantenuta in ebollizione per 1 h; dopo filtrazione il residuo viene lavato con acqua ed acetone ed essiccato.

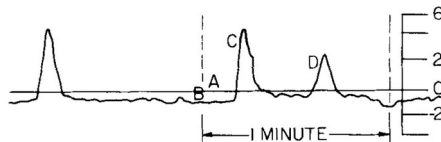
La digeribilità e il valore nutritivo di un alimento diminuiscono all'aumentare del suo contenuto in ADF.

La lignina resistente al detergente acido o ADL (*Acid Detergent Lignin*) si ottiene trattando l'ADF con H₂SO₄ 72% per 3 h a freddo, filtrando e lavando il residuo che viene successivamente essiccato; dopo pesata a freddo si incenerisce il residuo in forno a 500° C e lo si pesa nuovamente previo raffreddamento. La Δ fra le due pesate fornisce la lignina acido insolubile.

Avendo ridotto la quantità di fieno presente nella razione per poter aumentare l'apporto energetico (es. mais o un altro cereale in granella) e quello proteico (es. farina di estrazione di soia, girasole ecc.), quest'ultima sarà carente della cosiddetta «**fibra fisicamente efficace**» (PeNDF), ossia di alimenti fibrosi che siano in grado di stimolare efficacemente la ruminazione e la contrazione dei prestomaci. A questo problema si può rimediare aumentando la lunghezza delle fibre del trinciato di mais, che generalmente è compresa tra 6 e 16 mm (Figure 4.6-4.7). Se si trincia più lungo, però, la compressione del foraggio stoccato nei sili a trincea sarà più difficoltosa. Il trinciato, infatti, dev'essere compresso affinché la massa del foraggio insilato si compatti attraverso l'eliminazione degli interstizi e dell'aria in essi presente, e ricoperto con un telo in materiale plastico, sul quale dev'essere disposto uno strato di sabbia o di terra affinché il telo stesso rimanga ben teso. Si instaureranno, così, condizioni anaerobiche favorevoli alla proliferazione di batteri lattici, anaerobi obbligati, i quali fermenteranno una parte degli zuccheri, presenti nei tessuti vegetali, ad acido lattico, fino a quando l'acidificazione del foraggio provocherà l'arresto dell'attività batterica, rendendo possibile la conservazione del foraggio per tempi molto lunghi (fino ad un anno).



Fieno di avena LUNGO



Fieno di avena CORTO (0,1 cm)

Figura 4.6 Influenza della lunghezza delle fibre di fieno di avena sull'ampiezza e sulla frequenza delle contrazioni ruminali: A) pressione atmosferica; B) pressione all'interno del rumine a riposo (fra una contrazione e l'altra delle sue pareti); C) onda di contrazione principale del rumine; D) contrazione minore del rumine (contrazione di eruttazione dei gas di fermentazione). Da Martz & Belyea, 1986.

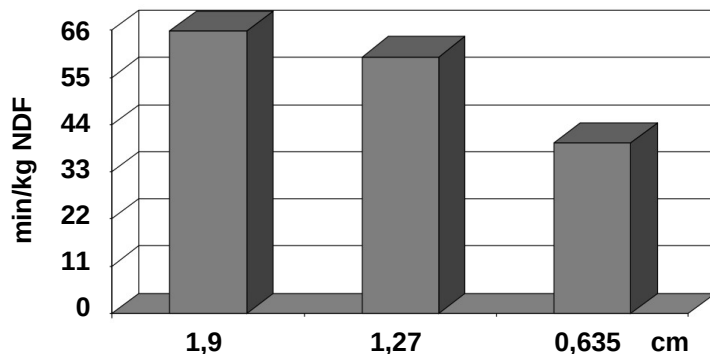


Figura 4.7 Lunghezza delle fibre di insilato di mais e tempi di masticazione. Da Chase, 2005.

Il valore di pH necessario per garantire una buona conservazione del silomais dipende dalla quantità di sostanza secca del medesimo: più il foraggio è umido e maggiore dovrà essere l'acidità affinché esso si conservi (Tabella 4.1).

Sostanza Secca (%)	pH
20	4,2
25	4,2
30	4,4
35	4,6
40	4,8
45	5,0
50	5,2
55	5,4

Tabella 4.1 Acidità necessaria per la conservazione dell'insilato di mais in funzione della sostanza secca. Da Ladetto, 1990.

Pertanto, se si ritarda lo sfalcio di alcune settimane, si otterrà un foraggio più secco, che potrà conservarsi anche con un livello di acidità minore. Per es., con una sostanza secca del 50% l'attività batterica verrà inibita a pH 5,2; con una sostanza secca del 20%, invece, il pH dovrà scendere a 4,2. Potrebbe sembrare una differenza non molto significativa ma, siccome il pH si misura su di una scala logaritmica, una variazione di un punto in meno corrisponde ad un aumento della concentrazione idrogenionica di 10 volte. Tale strategia, comunque, non sarebbe risolutiva, dal momento che più ci si avvicina alla maturazione della carioside e maggiore sarà il grado di lignificazione dei tessuti vegetali, con la conseguente, inevitabile riduzione della fermentescibilità della fibra (Figura 4.8).

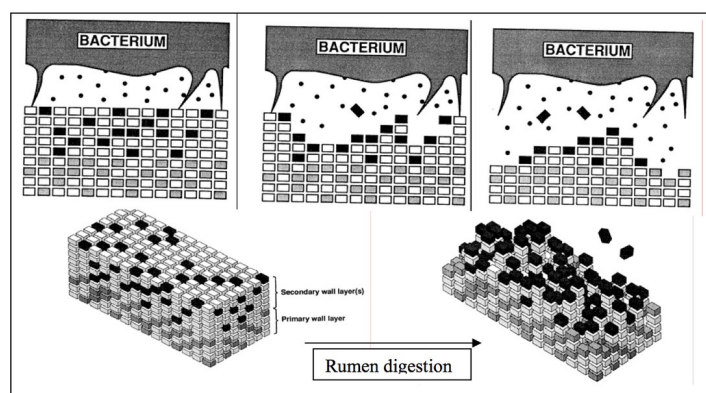


Figura 4.8 La lignificazione della parete delle cellule vegetali impedisce ai batteri cellulolitici di fermentare la cellulosa.

Legenda:

- carboidrati altamente lignificati
- carboidrati meno lignificati
- carboidrati non lignificati

Da Grant, 2005.

4.2.1 Apporto energetico, digeribilità dell'NDF e prestazioni produttive

Un importante obiettivo gestionale è la massimizzazione della DMI (*Dry Matter Intake*, quantità di sostanza secca ingerita) e, quindi, dell'apporto energetico della razione. All'inizio della lattazione le BLAP hanno spesso un bilancio energetico negativo, che influenza negativamente la persistenza del picco di lattazione. La DMI è, innanzitutto, limitata dalla zavorra costituita dai residui di alimento indigerito che, stazionando nei prestomaci, in particolare nel rumine e nel reticolo, oltre che nell'abomaso, distendono le pareti di questi tratti del tubo digerente, stimolando dei recettori di tensione che inviano segnali al centro della sazietà situato nel cervello. L'ingestione di alimento, infatti, aumenta all'aumentare della digeribilità dei foraggi mentre si riduce inserendo nei prestomaci sacchetti pieni d'acqua o d'aria, cubi di plastica o altro materiale inerte. L'NDF dei foraggi viene trattenuta nei prestomaci più a lungo rispetto ad altre sostanze alimentari, essendo formata inizialmente da particelle più grandi che, una volta immerse nel succo rumino-reticolare, tendono ad affiorare; pertanto l'effetto di riempimento dei foraggi dipende soprattutto dal loro contenuto di fibra (AAVV, 2021).

Il comportamento alimentare dei ruminanti è influenzato dallo stato fisiologico dell'organismo che, a propria volta, dipende dall'**afflusso di sostanze combustibili nel sangue** (Box 4.3). Inoltre, una bassa concentrazione di ATP nel fegato stimola l'appetito attraverso un aumento della frequenza degli impulsi nervosi che si propagano dal fegato al cervello attraverso il nervo vago (Allen, 2014). Esiste anche una regolazione ormonale: la **grelina**, un polipeptide secreto da ghiandole della parete dell'abomaso, stimola l'assunzione di alimento (anche se la sua concentrazione ematica non è correlata alla DMI in bovine da latte all'inizio della lattazione) mentre la **leptina**, prodotta dal tessuto adiposo, la inibisce inducendo sazietà e contribuendo a mantenere il peso corporeo a lungo termine dal momento che l'entità della sua secrezione da parte degli adipociti dipende dalla quantità di depositi adiposi presenti

nel corpo, come dimostra il fatto che la sua concentrazione ematica nelle bovine da latte dipende dal loro stato di nutrizione o *Body Condition Score* (BCS, Figura 4.9).

Altri segnali inibitori sono la **colecistochinina** (*cholecystokinin*, CCK) un ormone secreto dopo i pasti da ghiandole della parete del duodeno nonché gli ormoni pancreatici.

☑ Box 4.3 Le fonti di energia dei ruminanti (da Allen, 2014)

Gli **acidi grassi a catena corta** (*Fatty Acids*, FA), prodotti dalle fermentazioni ruminali (acetico, propionico, butirrico ecc.), così come il glucosio, l'acido lattico, gli aminoacidi e gli FA a catena media affluiscono al fegato attraverso la vena porta, mentre gli FA a catena lunga vengono assorbiti dal sistema linfatico. Dal sangue il **fegato** assorbe poco glucosio ed acido acetico, senza, quindi, dirottare tali sostanze da altri tessuti, e quantità maggiori di acido propionico, acidi grassi liberi (*Non-Esterified Fatty Acids*, NEFA), glicerolo, acido lattico ed aminoacidi, e ciò stimola l'assunzione di alimento. Il tessuto adiposo preleva dal sangue acido acetico, glucosio e NEFA durante la lipogenesi, mentre durante la lipolisi immette nel sangue trigliceridi, NEFA e glicerolo, composti che vengono ossidati nel fegato. I **muscoli scheletrici** utilizzano il glucosio, l'acido acetico, il glicerolo, l'acido β -idrossibutirrico (*β -Hydroxybutyric acid*, BHBA) nonché i NEFA come fonti di energia, e gli aminoacidi durante la sintesi proteica. Questi ultimi vengono mobilizzati in caso di bilancio energetico negativo, per poter essere ossidati previa deaminazione. L'acido lattico derivante dalla glicolisi anaerobia nelle fibre muscolari può essere utilizzato sia per la gluconeogenesi sia come combustibile nel fegato: nel secondo caso dovrà essere dapprima ossidato ad acido piruvico, che andrà incontro ad una decarbossilazione ossidativa nei mitocondri per poi entrare nel ciclo di Krebs come acetil-CoA (Box 5.3).

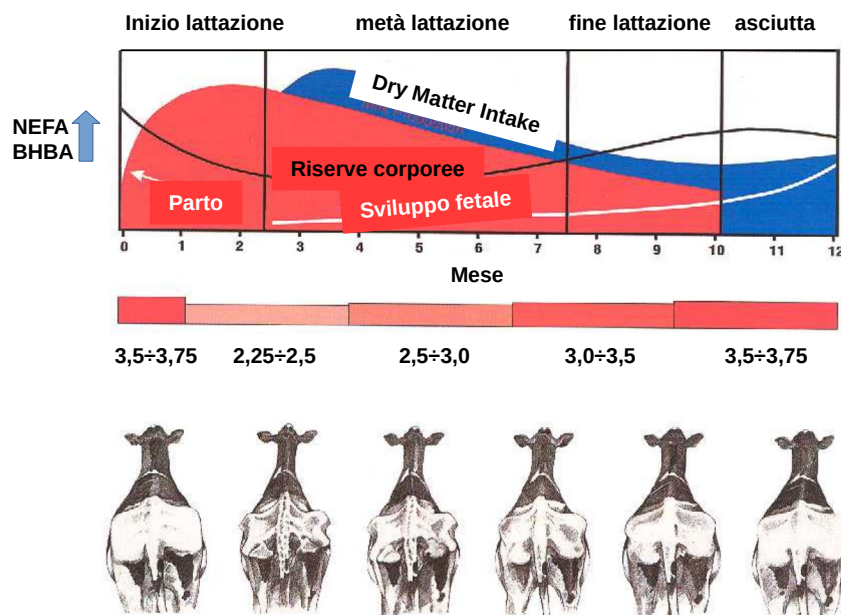


Figura 4.9 Lo stato di nutrizione (*Body Condition Score*) di una bovina da latte dipende dalla fase del ciclo produttivo in cui essa si trova.

Da https://www.vet.cornell.edu/sites/default/files/1e_Elanco%20Cow%20Body_condition_scoring_V3.pdf.

Il riempimento del rumine è uno dei fattori che regolano la Dry Matter Intake nelle bovine da latte. La frazione fibrosa della razione ha un ingombro maggiore e, pertanto, contribuisce di più a riempire il rumine rispetto alla frazione non fibrosa; infatti la fibra, a causa della lentezza con cui viene fermentata, viene trattenuta nel rumine più a lungo. La digeribilità dell'NDF da foraggio sia in vitro (da parte di batteri coltivati in laboratorio) sia in vivo, negli animali, è estremamente variabile, tanto da influenzare le prestazioni produttive a parità di concentrazione dell'NDF stesso nella razione. Per ogni unità aggiuntiva di digeribilità dell'NDF in vitro, la DMI aumenta di 0,17 kg e la quantità di latte corretto in grasso (*Fat Corrected Milk* o FCM) al 4% di 0,25 kg al giorno. Infine, un transito più rapido dell'NDF attraverso i prestomaci, reso possibile dalla sua maggiore digeribilità, riduce il riempimento fisico del rumine aumentando l'ingestione volontaria.