

Mauro Antongiovanni - Arianna Buccioni - Marcello Mele

# Nutrizione e alimentazione degli animali in produzione zootecnica

Bovini, suini e polli



1<sup>a</sup> edizione: giugno 2019  
1<sup>a</sup> ristampa della 1<sup>a</sup> edizione: aprile 2020  
2<sup>a</sup> ristampa della 1<sup>a</sup> edizione: novembre 2020  
3<sup>a</sup> ristampa della 1<sup>a</sup> edizione: maggio 2021



© Copyright 2021 by «Edagricole – Edizioni Agricole di New Business Media srl»  
via Eritrea 21 – 20157 Milano

Redazione: Piazza G. Galilei, 6 - 40123 Bologna

5579

Vendite: tel. 051/6575833; fax 051/6575999  
e-mail: libri.edagricole@newbusinessmedia.it – <http://www.edagricole.it>

Proprietà letteraria riservata – printed in Italy

*La riproduzione con qualsiasi processo di duplicazione delle pubblicazioni tutelate dal diritto d'autore è vietata e penalmente perseguibile (art. 171 della legge 22 aprile 1941, n. 633). Quest'opera è protetta ai sensi della legge sul diritto d'autore e delle Convenzioni internazionali per la protezione del diritto d'autore (Convenzione di Berna, Convenzione di Ginevra). Nessuna parte di questa pubblicazione può quindi essere riprodotta, memorizzata o trasmessa con qualsiasi mezzo e in qualsiasi forma (fotomeccanica, fotocopia, elettronica, ecc.) senza l'autorizzazione scritta dell'editore. In ogni caso di riproduzione abusiva si procederà d'ufficio a norma di legge.*

Realizzazione grafica: Emmegi Group, via F Confalonieri, 36 - 20124 Milano  
Impianti e stampa: Centro Stampa Digital Print Srl Via Novella, 15 - 47922 Rimini (Rn)  
Finito di stampare nel maggio 2021

ISBN-978-88-506-5579-3

# Prefazione

Nell'ormai lontano 2002 usciva la prima edizione del volume “Nutrizione e Alimentazione Animale”, a cura del sottoscritto e di Manuela Gualtieri. Si trattava di una versione aggiornata del trattato “Nutrizione e Alimentazione degli Animali Agricoli” di Elvio Borgioli, ormai superato dalle acquisizioni scientifiche della scuola britannica di Blaxter e McHardy.

Due anni dopo, nel 2004, usciva un aggiornamento dal titolo “Nutrizione e Alimentazione degli Animali in Produzione Zootecnica”, reso snello dalla mancanza delle tabelle della composizione degli alimenti e dei fabbisogni animali.

Da allora sono passati quindici anni e, recentemente, sono emerse nuove acquisizioni dal lavoro dei ricercatori della università Cornell e dell'INRA, acquisizioni che rendono necessario un nuovo aggiornamento.

Il presente trattato vede confermato il titolo in “Nutrizione e Alimentazione degli Animali in Produzione Zootecnica”, con il sottotitolo “bovini, suini e polli”, per distinguerlo dalla versione precedente. Il libro è stato quasi interamente riscritto nel tentativo di renderlo il più snello possibile a vantaggio degli studenti ed è frutto della collaborazione con Arianna Buccioni dell'università di Firenze e con Marcello Mele dell'università di Pisa.

Rispetto alla precedente versione del 2019, a questa ristampa è stata aggiunta un'appendice che cerca di chiarire la ragione per la quale con pochi elementi, in particolare solo con il carbonio, l'idrogeno, l'ossigeno, l'azoto e lo zolfo, la natura riesce mirabilmente a costruire un insieme praticamente infinito di composti organici diversi fra loro, protagonisti dei complessi fenomeni legati alla utilizzazione degli alimenti negli organismi animali, dalla digestione al metabolismo.

Ciò è dovuto alle molteplici possibilità dell'atomo di carbonio di cambiare la struttura dei suoi orbitali per dare tipi di legami diversi, anche con gli stessi elementi e con sé stesso.

Ci rendiamo conto che l'argomento possa essere difficile da digerire e metabolizzare, per cui va considerato una specie di “optional” che può essere davvero illuminante.

**Mauro Antongiovanni**

# Introduzione

In questi ultimi anni di crisi economica, caratterizzata da tassi di disoccupazione giovanile importanti, molti giovani si stanno orientando verso settori che dovrebbero risentire della crisi meno di altri. Dal momento che la necessità primaria dell'uomo è il cibo, le attività umane legate alla produzione del cibo sono necessariamente quelle che possono fornire le maggiori possibilità di occupazione.

Per ottenere il massimo da una qualsiasi attività, il primo requisito fondamentale è possedere le conoscenze scientifico-tecniche delle discipline che stanno alla base di quella attività. Sembra un'osservazione più che ovvia, che molti giovani sembrano aver ben chiara nella scelta del loro indirizzo di studi, ma che per molti altri, a cominciare dai nostri politici, sembra non avere, purtroppo, alcun fondamento.

Fra le molte e variegata discipline che sono alla base delle attività produttive agrarie, la zootecnia occupa un posto di rilievo, anche se colpevolizzata da animalisti, vegetariani o vegani che siano. Fermo restando il diritto di continuare ad essere onnivori, come l'evoluzione della specie ci ha formato, è opportuno sottolineare la superiorità nutrizionale degli alimenti di origine animale rispetto a quelli di origine vegetale. Le proteine animali hanno un valore biologico di gran lunga migliore rispetto alle proteine vegetali; i minerali apportati dagli alimenti animali sono più disponibili ed assimilabili di quelli apportati dagli alimenti vegetali; alcuni acidi grassi di riconosciuta valenza salutistica, come gli  $\omega$ -3 o i trans 11, si trovano prevalentemente nel pesce e nel latte dei ruminanti. E poi, abbia-

mo anche l'approvazione della Bibbia che recita: "Iddio disse: facciamo l'uomo alla nostra immagine, secondo la nostra somiglianza, ed abbia la signoria sopra i pesci del mare, e sopra gli uccelli del cielo, e sopra le bestie, e sopra tutta la terra, e sopra ogni rettile che serpe sopra la terra" (Gen. 1, 26).

Una volta chiarito che anche la zootecnia è un'attività produttiva sana che ha il diritto di esistere, quali sono le discipline che forniscono le conoscenze necessarie al suo corretto svolgimento, nel pieno rispetto del benessere animale? Esse sono la fisiologia animale e la biochimica, basi scientifiche della nutrizione e della tecnica alimentare, alla base della alimentazione.

Che cosa studiano queste discipline scientifiche e di cosa si occupa la tecnica dell'alimentazione? Le prime sono impegnate a capire come gli alimenti vengono modificati, fisicamente e chimicamente, ed utilizzati dall'animale allo scopo di ricavarne l'energia necessaria per mantenersi in vita, muoversi, accrescersi se è giovane, produrre latte, uova e riprodursi se è adulto, utilizzando a questi molteplici scopi il materiale fornito dagli alimenti stessi. In altre parole, gli alimenti forniscono all'animale il materiale da costruzione e l'energia per utilizzarlo. L'alimentazione, invece, si occupa delle tecniche di preparazione, di composizione di ingredienti e di somministrazione degli alimenti, al fine di ottenere il massimo rendimento, attraverso il conseguimento del benessere animale.

Gli inizi della evoluzione storica dello sviluppo della nutrizione e della alimentazione

## Introduzione

animali si perdono nella notte dei tempi. Già i nostri antenati, quando l'uomo da cacciatore nomade si è fatto allevatore stanziale, si sono sicuramente resi conto dell'importanza dell'alimentazione dei loro animali come fattore economico di produzione. Sembra che qualche tentativo per capire come gli animali utilizzano gli alimenti l'abbia fatto anche Leonardo da Vinci (e cosa non ha fatto Leonardo da Vinci?), ma bisogna arrivare all'illuminismo, ai chimici e fisici della fine del '700 in Francia, per avere i primi approcci seri alla ricerca scientifica nel campo della nutrizione. Bisogna poi attendere quasi un secolo per avere la fondazione di vere e proprie stazioni sperimentali di ricerca in campo agrario negli Stati Uniti, in Francia, Gran Bretagna, Olanda e in quella che oggi è la Germania. Si ricordano, di questo periodo, soprattutto i nomi di **von Liebig**, **Wolff**, **Lehmann**. All'inizio del novecento le ricerche presero un nuovo impulso con gli studi di calorimetria portati avanti da **Armsby** negli Stati Uniti e da **Kellner** in Germania. Poi, fu la volta della Gran Bretagna con **Blaxter** e **McHardy**, autori di studi fondamentali di taglio moderno sulla interpretazione del modo in cui gli alimenti vengono utilizzati nei bovini con efficienze diverse a seconda delle combinazioni fra loro ed in funzione del tipo di produzione zootec-

nica: latte, carne e mantenimento. Gli studi di **Blaxter** e **McHardy** sono stati ripresi, per una sorta di validazione, da **van Es** in Olanda e da **Jarrige** in Francia negli anni '70 ed hanno costituito la base scientifica dei sistemi europei di espressione del valore nutritivo degli alimenti. Negli stessi anni, negli Stati Uniti, **Moe**, **Flatt**, **Lofgreen** e **Garrett** proponevano il sistema americano, diverso nella forma, ma non nella sostanza, da quello europeo. Più recentemente, a partire dagli anni '90, la scuola dell'Università **Cornell**, negli Stati Uniti, ha contribuito con un sistema che vuole essere estremamente preciso attraverso l'introduzione di un grandissimo numero di parametri nel modello matematico, ma che risulta estremamente complicato. Anche la scuola dell'**INRA** in Francia, riprendendo gli studi di **van Es** e **Jarrige**, ha proposto un sistema altrettanto complicato.

Abbiamo dedicato due capitoli espressamente riservati al sistema **Cornell** ed al sistema **INRA**, dal momento che sono i più diffusi e che sono stati appena modificati ed aggiornati, alla luce dei risultati degli ultimi studi.

Tutti gli altri sistemi in uso nel mondo si rifanno a questi citati, in un modo o nell'altro, tutt'al più con lievi adattamenti.

**Mauro Antongiovanni**

# Indice generale

<b>Prefazione</b> .....	Pag.	V
<b>Introduzione</b> .....	»	VII
<b>PRIMA PARTE - Chimica e biochimica degli alimenti</b>		
<b>1. Il prodotto zootecnico</b> .....	»	3
<b>2. I carboidrati</b> .....	»	7
2.1 Enantiomeria e anomeria.....	»	7
2.2 Classificazione dei carboidrati.....	»	8
2.2.1 I pentosi.....	»	9
2.2.2 Gli esosi.....	»	9
2.2.3 Gli eptosi.....	»	10
2.2.4 I disaccaridi.....	»	10
2.2.5 I tri- e i tetrasaccaridi.....	»	11
2.2.6 Gli omopolisaccaridi.....	»	11
2.2.7 Gli eteropolisaccaridi.....	»	13
2.3 La lignina.....	»	14
2.4 La fibra.....	»	15
<b>3. I lipidi</b> .....	»	17
3.1 I grassi.....	»	17
3.2 Alcune proprietà dei grassi.....	»	21
3.3 I glicolipidi.....	»	22
3.4 I fosfolipidi.....	»	23
3.5 Gli steroidi.....	»	24
<b>4. Proteine e altre sostanze azotate</b> .....	»	25
4.1 Le proteine.....	»	25
4.1.1 Gli aminoacidi e la struttura proteica.....	»	25
4.1.2 Il legame peptidico e la struttura delle proteine.....	»	27
4.1.3 Classificazione delle proteine.....	»	28
4.2 Sostanze azotate non proteiche.....	»	29
4.3 Il meccanismo della sintesi dei polipeptidi proteici.....	»	31
<b>5. I minerali</b> .....	»	35
5.1 I macroelementi.....	»	35
		IX

**Indice generale**

5.1.1 Calcio (Ca) e fosforo (P) .....	Pag.	35
5.1.2 Potassio (K), sodio (Na) e cloro (Cl).....	»	36
5.1.3 Zolfo (S).....	»	37
5.1.4 Magnesio (Mg).....	»	37
5.2 I microelementi .....	»	37
5.2.1 Ferro (Fe) .....	»	37
5.2.2 Zinco (Zn) .....	»	37
5.2.3 Rame (Cu) .....	»	37
5.2.4 Molibdeno (Mo) .....	»	38
5.2.5 Selenio (Se) .....	»	38
5.2.6 Iodio (I).....	»	38
5.2.7 Manganese (Mn) .....	»	39
5.2.8 Cobalto (Co).....	»	39
5.2.9 Fluoro (F).....	»	39
<b>6. Le vitamine .....</b>	»	<b>41</b>
6.1 Le vitamine liposolubili.....	»	41
6.1.1 La vitamina A (Fig. 6.1).....	»	41
6.1.2 La vitamina D (Fig. 6.2) .....	»	42
6.1.3 La vitamina E (tocoferoli, Fig. 6.3) .....	»	43
6.1.4 La vitamina K (Fig. 6.4) .....	»	43
6.2 Le vitamine idrosolubili .....	»	43
6.2.1 La vitamina B <sub>1</sub> (tiamina, Fig. 6.5).....	»	44
6.2.2 La vitamina B <sub>2</sub> (riboflavina, Fig. 6.6) .....	»	45
6.2.3 La nicotinamide (niacina, Fig. 6.7).....	»	45
6.2.4 La vitamina B <sub>6</sub> (piridossina e derivati, Fig. 6.8) .....	»	46
6.2.5 L'acido pantotenico (Fig. 6.9) .....	»	46
6.2.6 L'acido folico (folacina, Fig. 6.10).....	»	47
6.2.7 La biotina (vitamina H, Fig. 6.11) .....	»	48
6.2.8 La colina (Fig. 6.12) .....	»	48
6.2.9 L'inositolo (Fig. 6.13).....	»	48
6.2.10 La vitamina B <sub>12</sub> (cobalamina, Fig. 6.14) .....	»	48
6.2.11 La vitamina C (acido ascorbico, Fig. 6.15) .....	»	49
6.2.12 L'acido lipoico (vitamina N).....	»	50
<b>7. L'analisi degli alimenti .....</b>	»	<b>51</b>
7.1 Determinazione dell'umidità.....	»	51
7.2 Determinazione della proteina grezza .....	»	52
7.3 Determinazione dei lipidi.....	»	53
7.4 Determinazione della fibra.....	»	53
7.5 Determinazione delle ceneri.....	»	53
7.6 Gli estrattivi inazotati .....	»	54
7.7 L'analisi tipo .....	»	54
7.8 Le frazioni fibrose secondo van Soest.....	»	54
7.9 Spettroscopia NIR (Near InfraRed) .....	»	55

**SECONDA PARTE - Gli alimenti, consumo, digestione e utilizzazione metabolica**

<b>8. Gli alimenti zootecnici .....</b>	»	<b>59</b>
8.1 I foraggi.....	»	59

8.2	Tecniche di conservazione dei foraggi.....	Pag.	60
8.2.1	La fienagione e i fieni.....	»	60
8.2.2	L'insilamento e gli insilati.....	»	62
8.2.3	Il fieno-silo (fasciato).....	»	65
8.2.4	I foraggi disidratati.....	»	65
8.3	I concentrati.....	»	65
8.4	Tecnologie dei trattamenti sugli alimenti.....	»	67
8.4.1	I sottoprodotti.....	»	67
8.4.2	I concentrati.....	»	68
8.4.3	I mangimi composti completi.....	»	69
8.4.4	I mangimi complementari e i medicati.....	»	70
<b>9.</b>	<b>Integratori e additivi.....</b>	»	71
9.1	Integratori.....	»	71
9.1.1	Integratori minerali.....	»	71
9.1.2	Integratori vitaminici.....	»	72
9.1.3	Integratori azotati e proteici.....	»	72
9.2	Additivi promotori.....	»	74
9.2.1	Antibiotici.....	»	74
9.2.2	I vaccini ed altri immunomodulatori.....	»	76
9.2.3	I batteriofagi e le loro lisine.....	»	76
9.2.4	I probiotici.....	»	76
9.2.5	I prebiotici.....	»	77
9.2.6	Gli inibitori del sistema QS batterico.....	»	78
9.2.7	Gli inibitori del biofilm batterico.....	»	79
9.3	Altri additivi.....	»	79
9.3.1	Gli enzimi alimentari.....	»	80
9.3.2	Gli anabolizzanti.....	»	80
9.4	Additivi tecnici.....	»	83
9.4.1	Gli antiossidanti.....	»	83
9.4.2	Le sostanze aromatizzanti.....	»	83
9.4.3	Gli emulsionanti.....	»	83
9.4.4	I pigmentanti.....	»	84
9.4.5	I conservanti.....	»	84
9.4.6	I leganti.....	»	84
9.4.7	Altri additivi (i fitogenici).....	»	85
<b>10.</b>	<b>Gli enzimi.....</b>	»	87
10.1	Due parole sull'energia.....	»	90
10.2	Specificità dell'azione enzimatica.....	»	91
10.3	Classificazione e nomenclatura.....	»	92
10.4	Natura dei coenzimi.....	»	92
<b>11.</b>	<b>Digestione e assorbimento.....</b>	»	95
11.1	Digestione.....	»	95
11.1.1	Digestione nei monogastrici.....	»	96
11.1.2	Digestione nei poligastrici.....	»	98
11.2	Assorbimento.....	»	100
	Appendice: il rumine ed i microrganismi ruminali.....	»	102



## Indice generale

<b>12. Il metabolismo</b> .....	Pag. 107
12.1 I prodotti della digestione .....	» 107
12.2 Il catabolismo dei carboidrati .....	» 109
12.2.1 La glicolisi.....	» 109
12.2.2 La metanogenesi e la via dell'acetato .....	» 110
12.2.3 La via del propionato .....	» 111
12.2.4 La via del butirrato .....	» 112
12.2.5 La bioidrogenazione degli acidi grassi insaturi.....	» 112
12.3 La fosforilazione ossidativa .....	» 114
12.3.1 La decarbossilazione ossidativa del piruvato.....	» 114
12.3.2 Il ciclo di Krebs o degli acidi tricarbossilici .....	» 115
12.3.3 La via dei pentoso-fosfati.....	» 117
12.4 Il catabolismo dei lipidi .....	» 118
12.4.1 La $\beta$ -ossidazione.....	» 118
12.5 Il catabolismo degli aminoacidi .....	» 121
12.6 L'anabolismo dei carboidrati.....	» 123
12.6.1 Gluconeogenesi e sintesi del glicogeno.....	» 123
12.6.2 La sintesi del lattosio.....	» 123
12.7 L'anabolismo dei grassi.....	» 124
12.8 L'anabolismo delle proteine.....	» 124
12.9 Bilanci energetici del metabolismo.....	» 126
<b>13. Il valore energetico degli alimenti</b> .....	» 129
13.1 Misura del contenuto di energia lorda .....	» 130
13.2 Stima della digeribilità dell'energia .....	» 130
13.3 Stima dell'energia metabolizzabile (ME).....	» 131
13.4 Stima dell'energia netta (NE).....	» 131
<b>14. Il valore proteico degli alimenti</b> .....	» 135
14.1 Nei monogastrici.....	» 135
14.1.1 Stima della digeribilità della proteina grezza .....	» 135
14.1.2 Stima della proteina ritenibile (bilancio dell'azoto) .....	» 136
14.2 Nei ruminanti .....	» 136
14.2.1 Stima della proteina degradabile con il metodo in sacco .....	» 138
14.3 Il valore biologico delle proteine .....	» 139
14.4 Considerazioni a commento dei capitoli 13 e 14 .....	» 141
<b>15. Il consumo volontario</b> .....	» 143
15.1 Il meccanismo fisiologico di controllo del consumo di alimenti .....	» 143
15.1.1 Nei monogastrici.....	» 144
15.1.2 Nei ruminanti .....	» 145
<b>16. I fabbisogni</b> .....	» 147
16.1 Fabbisogni energetici e proteici di mantenimento.....	» 147
16.1.1 Mantenimento dei ruminanti .....	» 149
16.1.2 Mantenimento dei monogastrici (suini e polli) .....	» 150
16.2 Fabbisogni energetici e proteici di accrescimento.....	» 150
16.3 Valori dei fabbisogni di accrescimento dei suini.....	» 151
16.4 Valori dei fabbisogni di accrescimento dei polli .....	» 152
16.4.1 Il caso particolare dei fabbisogni in aminoacidi nei monogastrici.....	» 152

**TERZA PARTE - Criteri generali di alimentazione**

<b>17. Alimentazione della bovina da latte</b> .....	Pag.	157
17.1 Controllo ormonale delle utilizzazioni metaboliche.....	»	158
17.2 Modificazioni del metabolismo in lattazione .....	»	158
17.3 Stima dei fabbisogni .....	»	162
<b>18. Alimentazione del bovino da carne</b> .....	»	163
18.1 Stima dei fabbisogni .....	»	164
<b>19 Svezzamento del vitello</b> .....	»	167
19.1 Da monogastrico a ruminante .....	»	167
19.2 Caratteristiche del mangime.....	»	167
19.3 Il piano di svezzamento.....	»	167
<b>20. Alimentazione dei suini</b> .....	»	169
20.1 Alimentazione di scrofette e scrofe .....	»	169
20.1.1 La gestazione .....	»	169
20.1.2 Il parto.....	»	170
20.1.3 L'allattamento .....	»	170
20.2 Alimentazione di suini all'ingrasso.....	»	171
20.3 Alimentazione dei verri .....	»	171
20.4 Tabelle dei fabbisogni.....	»	171
20.5 Forme di somministrazione degli alimenti.....	»	174
20.6 Lo svezzamento dei suinetti.....	»	175
<b>21. Alimentazione dei polli</b> .....	»	177
21.1 Alimentazione delle ovaiole.....	»	177
21.2 Alimentazione dei broiler.....	»	177

**QUARTA PARTE - I sistemi di espressione del valore nutritivo degli alimenti e dei fabbisogni animali**

<b>22. Storia dei sistemi di espressione dell'energia degli alimenti</b> .....	»	183
22.1 Il sistema dei TDN ( <i>Total Digestible Nutrients</i> ).....	»	183
22.2 Il metodo Kellner degli equivalenti amido.....	»	184
22.3 Il sistema scandinavo degli equivalenti foraggeri.....	»	185
22.4 Il sistema delle unità foraggere francesi .....	»	185
22.5 Il sistema Rostock.....	»	185
22.6 Il sistema britannico dell'energia metabolizzabile .....	»	186
22.7 I sistemi americani di Lofgreen e Garrett e di Moe e Flatt.....	»	186
22.8 Il sistema europeo.....	»	186
22.9 Considerazioni generali sui modelli proposti per i bovini .....	»	188
<b>23. Il sistema CNCPS</b> .....	»	189
23.1 Caratterizzazione degli alimenti.....	»	189
23.1.1 I nutrienti digeribili totali (TDN).....	»	189
23.1.2 CNCPS livello 1 .....	»	191
23.1.3 CNCPS livello 2 .....	»	192
23.2 Dinamica di utilizzazione delle frazioni alimentari .....	»	195
23.3 Altri aspetti interessanti .....	»	197

**Indice generale**

<b>24. Il sistema francese INRA</b> .....	Pag.	199
24.1 Flussi delle sostanze azotate nei ruminanti e vie di utilizzazione dell'energia .....	»	199
24.2 Velocità di transito dal rumine .....	»	201
24.3 Passaggio da energia digeribile ad energia metabolizzabile .....	»	203
24.4 Passaggio da energia metabolizzabile ad energia netta.....	»	204
24.5 I particolari del sistema aggiornato al 2018.....	»	204
24.5.1 Il valore proteico .....	»	204
24.5.2 Le costanti di transito del contenuto ruminale .....	»	205
24.5.3 La degradabilità ruminale della proteina grezza alimentare .....	»	206
24.6 Gli effetti associativi degli alimenti in una razione.....	»	209
24.7 Le frazioni dell'energia.....	»	211
24.7.1 L'energia lorda .....	»	211
24.7.2 L'energia digeribile .....	»	211
24.7.3 L'energia metabolizzabile .....	»	211
24.7.4 L'energia netta .....	»	212
24.8 La metabolizzabilità dei nutrienti.....	»	213
24.9 L'ingestione volontaria di alimenti .....	»	214

**QUINTA PARTE - Tabelle dei fabbisogni e della composizione degli alimenti**

<b>25. Introduzione alle tabelle</b> .....	»	221
25.1 Fabbisogni dei bovini .....	»	221
25.1.1 Bovine in lattazione .....	»	222
25.1.2 Bovini da carne.....	»	222
25.2 Fabbisogni dei suini .....	»	223
25.3 Fabbisogni dei polli.....	»	225
25.4 Tabelle della composizione dei più comuni alimenti zootecnici.....	»	225

**SESTA PARTE - Tre esempi di razionamento di bovini**

<b>26. Razionamento dei bovini</b> .....	»	251
26.1 La bovina da latte.....	»	251
26.2 Il bovino da carne.....	»	252

**SETTIMA PARTE - Micotossine**

<b>27. Micotossine e micotossicosi</b> .....	»	257
27.1 Le Aflatossine .....	»	257
27.2 Le Ocratossine .....	»	259
27.3 Le Fusariotossine.....	»	259

<b>Elenco degli acronimi e dei simboli</b> .....	»	261
--	---	-----

<b>Appendice. Il carbonio e il legami chimici</b> .....	»	267
---	---	-----

<b>Indice analitico</b> .....	»	271
-------------------------------	---	-----

# 10 Gli enzimi

Gli **enzimi** sono complessi molecolari la cui parte preponderante è di natura proteica, salvo pochissime eccezioni. Essi svolgono il precipuo compito di accelerare enormemente la velocità delle reazioni che avvengono all'interno delle cellule dei vari tessuti e organi. Si pensi che alcune reazioni di decarbossilazione che, in assenza dell'enzima richiederebbero alcune centinaia di anni, in presenza della **decarbossilasi** specifica, avvengono in frazioni di secondo. In questo senso, gli enzimi sono da considerare dei biocatalizzatori, che differiscono, però, dai catalizzatori classici della chimica per il fatto che non vengono modificati nella reazione che guidano.

Il meccanismo di azione di un enzima è abbastanza complesso, anche perché sono possibili molte varianti rispetto ad uno schema univoco. Semplificando al massimo, possiamo schematizzare il meccanismo di azione nei seguenti punti:

- si forma un complesso fra enzima e il prodotto iniziale della reazione, il **substrato**;
- avviene la reazione sul substrato, senza che l'enzima venga modificato;
- il prodotto finale viene rilasciato (Fig. 10.1);
- l'enzima è libero di agire di nuovo: non ha subito modificazioni e, quindi, non è stato consumato.



**Figura 10.1** - L'enzima (E) forma reversibilmente il complesso enzima-substrato (ES) e poi è di nuovo libero dopo aver rilasciato il prodotto finale (P) della reazione.

La spiegazione del fatto che la velocità della reazione viene accelerata senza che ne sia modificata la termodinamica, risiede nel livello di energia di attivazione del complesso enzima-substrato, che è molto più basso del livello di **energia di attivazione** del prodotto di partenza senza enzima (Fig. 10.2).

I prodotti di partenza di una reazione hanno bisogno che venga loro fornita una quota di energia per attivarli, l'energia di attivazione, appunto, dopo di che la reazione procede spontaneamente fino al livello energetico finale. Un esempio: un pezzo di legno non brucia spontaneamente rilasciando l'energia che contiene nei legami chimici della sua lignina, se non viene portato alla temperatura di combustione con adeguato apporto energetico dall'esterno. L'intervento di un enzima potrebbe essere pensato, in questo esempio, come la riduzione in piccoli trucioli del pezzo di legno, che necessita così di una quota di energia di attivazione più bassa per bruciare.

Se consideriamo la reazione senza l'intervento dell'enzima:



la cinetica della reazione reversibile dipende dalla costante di equilibrio  $k$ , ovvero dal rapporto fra le concentrazioni del prodotto e del substrato:

$$k = [P] / [S]$$

Ciò significa che, per mantenere la costanza di  $k$ , via via che il prodotto viene allontanato

## 10. Gli enzimi

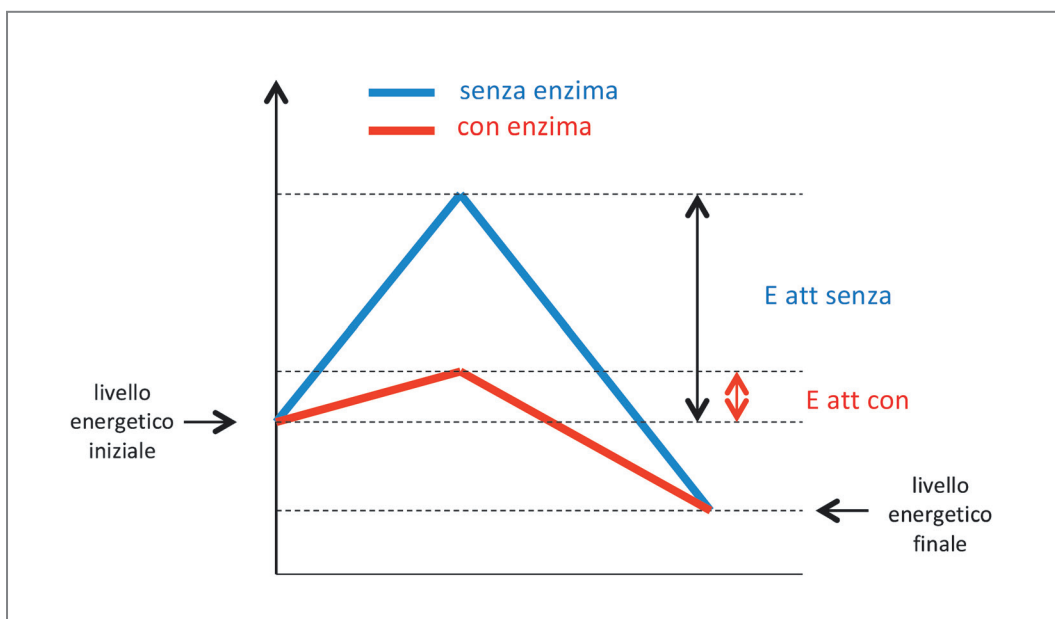


Figura 10.2 - Differenza di livello di energia di attivazione di una reazione con o senza l'intervento dell'enzima.

perché utilizzato in altre reazioni, la concentrazione del substrato diminuisce, ovvero la reazione procede verso destra, senza che cambi il valore dell'energia di attivazione.

Se, invece, consideriamo la reazione con l'intervento dell'enzima, come alla figura 10.1, allora le costanti di equilibrio sono due:

$$k_1 = \frac{[ES]}{[E][S]} \quad \text{e} \quad k_2 = \frac{[E][P]}{[ES]}$$

Come illustrato dalla figura 10.2, la reazione con  $k_1$  è quella con bassa energia di attivazione e sarà questa la reazione che, attraverso la diminuzione della concentrazione del complesso ES, che è anche il denominatore della  $k_2$ , determinerà la cinetica complessiva.

Gli enzimi sono caratterizzati da **specificità di substrato**, ovvero formano il complesso enzima-substrato solo con uno, o pochi, substrati, e da **specificità di azione**, ovvero sono capaci di modificare il substrato in una sola maniera: idrogenazione o deidrogenazione, aminazione o deaminazione, carbosilazione o decarbosilazione, fosforilazione, elongazione, ecc.

La specificità di substrato degli enzimi dipende dalla struttura terziaria e quaternaria della componente proteica, detta anche **apoenzima**,

che rende possibili i legami, di tipo ionico, covalente, a idrogeno o altri, soltanto con un tipo di substrato specifico.

La specificità di azione è, invece, dovuta alla componente non proteica, detta **gruppo prostetico** o, anche, **coenzima**, il più delle volte costituita, parzialmente o totalmente, da **vitamine del complesso B**.

L'insieme coenzima + apoenzima, ovvero l'enzima completo, si definisce **oloenzima**:



La qualità di un enzima si misura attraverso la quantità di substrato che si trasforma in complesso ES al minuto per unità di moli di enzima. Questa unità di misura esprime la cosiddetta affinità enzimatica ed è comunemente indicata come **costante di Michaelis** o **numero di turnover**.

Le azioni enzimatiche sono varie e molteplici. Ne ricordiamo le più frequenti ed importanti:

- trasporto di idrogeno, tipico degli **enzimi flavinici**;
- trasporto di elettroni, tipico delle **catalasi**, **perossidasi**, dei **citocromi**, dell'**ubichinone**;

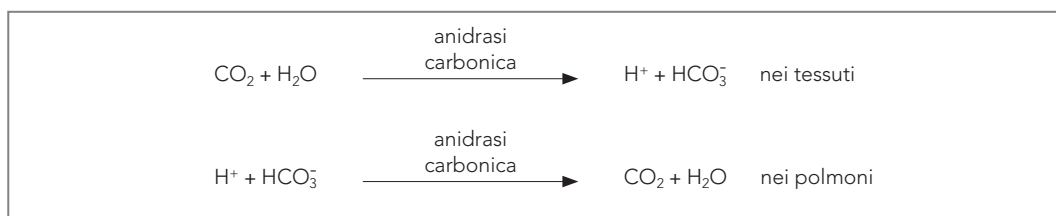


Figura 10.3 - Lo stesso enzima agisce in versi opposti in funzione delle concentrazioni relative.

- trasporto di idrogeno ed elettroni, tipico delle **deidrogenasi**;
- decarbossilazione, tipico delle **decarbossilasi tiamina pirofosfato** e **piridossalfosfato**;
- trasporto di radicali fosforici, come nel caso dell'**ATP**;
- trasporto di acili, come con il **CoA-SH**.

Lo stesso enzima può catalizzare una reazione in un verso o nel verso opposto, in funzione delle concentrazioni relative dei prodotti iniziali e dei prodotti finali (Fig. 10.3).

**Fischer** nel 1894 formulò la teoria del modello chiave-serratura, secondo la quale un enzima si lega ad uno specifico substrato e solo a quello come una serratura riconosce una sola chiave.

Più tardi, **Koshland**, nel 1958, formulò il modello di adattamento indotto: l'enzima può adattare la propria morfologia molecolare per formare al meglio il **complesso enzima-substrato** (Fig. 10.4).

Dal punto di vista energetico, le reazioni possono procedere in **senso esoergonico** se il livello energetico dei prodotti finali è più basso di quello dei prodotti iniziali, ovvero se il sistema rilascia energia all'esterno come nel caso della figura 10.2, oppure in **senso endoergonico**, quando per procedere hanno biso-

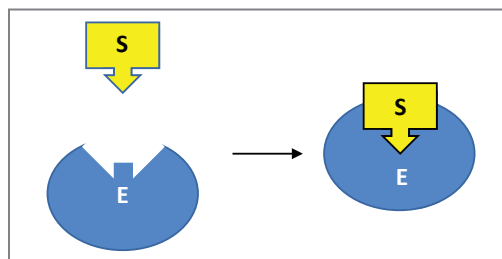


Figura 10.4 - Modello di adattamento indotto di Koshland.

gno di un sistema esterno che fornisca l'energia necessaria.

Una reazione endoergonica non può decorrere spontaneamente, per cui in natura deve essere sempre affiancata da un'altra reazione, questa volta esoergonica, con formazione di un composto intermedio ricco di energia.

L'esempio classico di un composto di questo tipo è l'**adenosina trifosfato**, il ben noto **ATP**. Quando l'ATP rilascia un gruppo fosforico divenendo **ADP (adenosina difosfato)**, cede al sistema 30.5 kJ/mole di energia, utilizzabili da reazioni endoergoniche (Fig. 10.5).

L'ADP così formato deve essere poi "ricaricato" ad ATP per poter funzionare di nuovo, come una batteria ricaricabile.

Una delle reazioni di ricarica da prendere ad

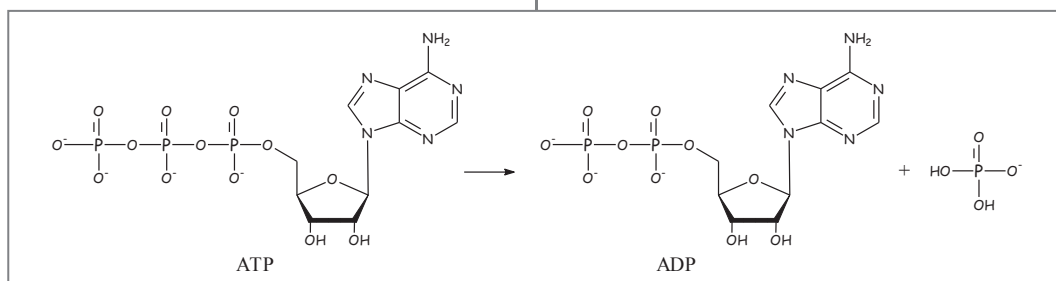


Figura 10.5 - Idrolisi dell'ATP ad ADP, con cessione di energia.

## 10. Gli enzimi

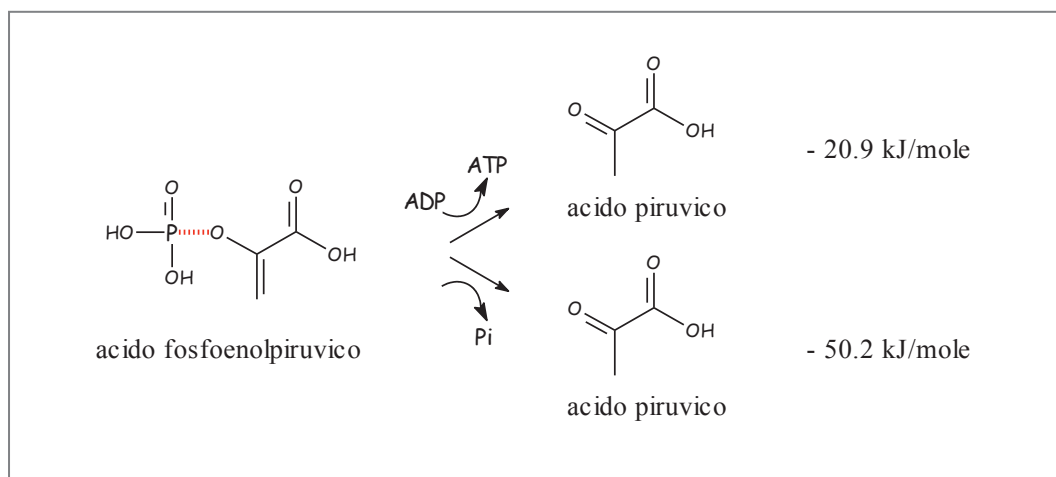


Figura 10.6 - Le due vie di idrolisi del legame energetico del fosfoenolpiruvato.

esempio è quella che fa parte della via metabolica della **glicolisi** (Fig. 10.6, vedi anche al capitolo specifico del metabolismo dei carboidrati). Il legame estere fosforico, indicato nella figura con il colore rosso, è un legame ricco di energia che può liberare nell'idrolisi circa 50 kJ/mole (via inferiore). Questi 50 kJ possono servire alla ricarica di ATP a partire da ADP, con liberazione di una ventina di kJ soltanto (via superiore).

### 10.1 Due parole sull'energia

Nelle pagine precedenti si è parlato di sostanze ricche di energia, come l'ATP, e di acquisto e cessione di energia. Ma cos'è l'energia di cui parliamo e come funziona?

Nei trattati classici di fisica si legge che "l'energia è la capacità di compiere un lavoro". Si capisce allora che l'energia non è niente di materiale e non si manifesta se non al momento in cui si trasforma in lavoro. Il carburante contenuto nel serbatoio di una automobile contiene in sé l'energia per far compiere a quella automobile il lavoro di muoversi, ma non si manifesta fino a che la macchina non si muove.

Ne consegue che l'energia di quel carburante si può misurare solo e soltanto quando si trasforma in **lavoro**.

E veniamo al lavoro. Sempre nei trattati di fisica

si legge che il lavoro è dato dalla forza applicata ad un corpo per lo spostamento che quel corpo subisce per effetto della forza applicata:

$$\text{Lavoro} = \text{Forza} \times \text{Spostamento}$$

Ma la **forza**, a sua volta, viene definita come il prodotto della massa del corpo da spostare per l'accelerazione che questo subisce modificando la sua velocità per effetto della spinta:

$$\text{Forza} = \text{Massa} \times \text{Accelerazione} = \text{Massa} \times \text{Spostamento} \times \text{Tempo}^{-2}$$

Allora:

$$\text{Energia} = \text{Lavoro} = \text{Massa} \times \text{Spostamento}^2 \times \text{Tempo}^{-2}$$

A questo punto possiamo attribuire all'energia un valore quantificabile in una unità di misura compatibile con la sua dimensione: la **massa** si misura in chilogrammi (kg), le distanze si misurano in metri (m), il tempo si misura in secondi (sec). L'equazione dimensionale dell'energia è allora:

$$\text{Energia} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{sec}^{-2}$$

Alla quantità di energia che sposta un corpo di massa di 1 kg per 1 m, imprimendogli l'accelerazione di 1 m/sec<sup>2</sup> si è dato il nome di

**Joule** (simbolo **J**) ed è l'unica unità accettata ufficialmente dal sistema scientifico internazionale delle unità. È questa l'unità di misura che adotteremo per descrivere quanto succede in termini di scambi di energia nel capitolo del metabolismo.

In pratica, poiché l'energia contenuta negli alimenti corrisponde all'energia contenuta nei legami chimici delle sostanze organiche che li costituiscono, energia che si libera completamente alla rottura dei legami per combustione, l'energia contenuta in un alimento si misura con il **calorimetro**, apparecchio di laboratorio che quantifica il calore prodotto dalla combustione di una quantità nota di campione dell'alimento. Ecco perché l'energia alimentare si può esprimere anche in **calorie (cal)**.

Le due unità si equivalgono attraverso il fattore di conversione 4,184:

$$1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J.}$$

Nella seconda parte del capitolo sul metabolismo faremo dei bilanci energetici delle varie vie metaboliche, sia relative alle attività di utilizzazione alimentare della micropopolazione simbiote, sia relative a quelle dell'animale. Si tenga a mente che, in base a quanto si è visto con la figura 10.6, la mole di **ATP** è la nostra

unità "monetaria", che vale circa 50 MJ se spesa per fornire energia.

## 10.2 Specificità dell'azione enzimatica

Gli enzimi, per loro natura, presentano tutti una più o meno elevata specificità nei riguardi del substrato da una parte, e del tipo di azione chimica dall'altra.

La specificità nei riguardi del substrato è prerogativa della parte dell'enzima di natura proteica, ovvero della particolare conformazione del sito attivo, che permette la formazione di legami solo con un certo tipo di substrato e non con altri.

La specificità di azione è data, invece, dalla natura del coenzima che, di solito, è comune ad enzimi diversi, ma caratterizzati dallo stesso tipo di reazione che catalizzano. Ad esempio, molti enzimi, che guidano reazioni di deidrogenazione ed idrogenazione, hanno come coenzima comune il **NAD<sup>+</sup>** e molte **ligasi**, che catalizzano reazioni di sintesi di nuovi legami chimici utilizzando l'energia proveniente dalla rottura di legami altamente energetici come quelli dell'**ATP**, operano in presenza del **coenzima acetilante (CoASH)**.

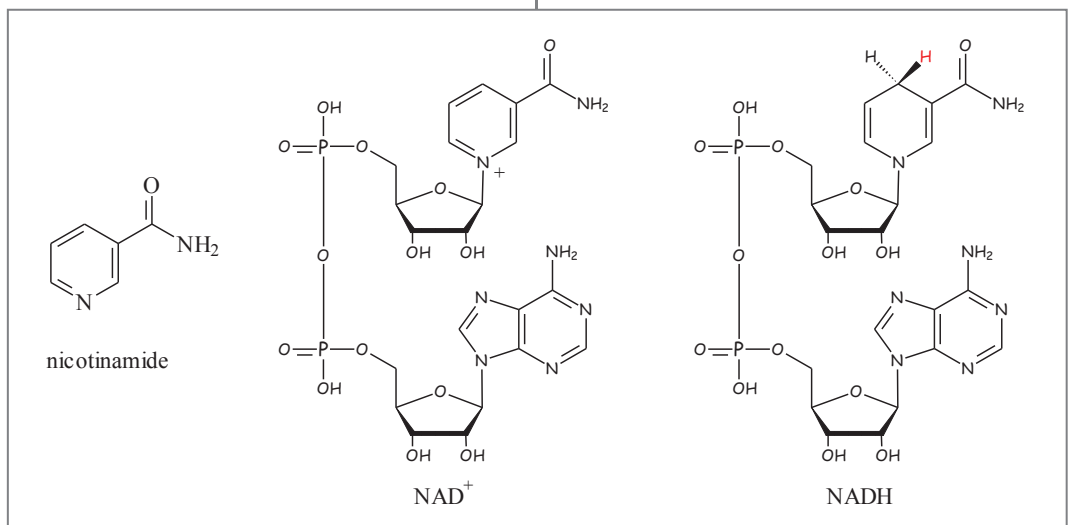


Figura 10.7 - Il sistema coenzimatico NAD<sup>+</sup> - NADH e la vitamina nicotinamide.



## 10. Gli enzimi

### 10.3 Classificazione e nomenclatura

Si possono adottare tre diversi criteri per la classificazione e la denominazione degli enzimi.

Il primo criterio riguarda il tipo di reazione catalizzata, cui si aggiunge il suffisso “-asi”. Alcuni esempi: gli enzimi che guidano le reazioni di deidrogenazione si chiamano **deidrogenasi**; quelli che catalizzano le reazioni di decarbossilazione si chiamano **decarbossilasi**, e così via.

Il secondo criterio si riferisce ai soli enzimi ad azione idrolitica, che prendono il nome del substrato che contribuiscono ad idrolizzare. Ad esempio, le **amilasi** sono enzimi che idrolizzano l'amido liberando polisaccaridi più semplici come le **destrine** ed il **maltosio**; le **maltasi** idrolizzano il disaccaride **maltosio**

liberando l' $\alpha$ -glucosio; le **lipasi** guidano l'idrolisi dei grassi verso la liberazione di **monogliceridi**, **digliceridi** ed **acidi grassi liberi**, le **proteasi** idrolizzano le proteine liberando **peptidi** ed **aminoacidi**.

Il terzo criterio è più specifico dei primi due ed individua il nome sia del substrato che del tipo di reazione: la **lattatodeidrogenasi** è l'enzima che catalizza la deidrogenazione dell'acido lattico; la **glucosio 6 fosfatasi** è l'enzima che guida la fosforilazione del glucosio sul carbonio numero 6.

### 10.4 Natura dei coenzimi

Anche se, comunemente, si considerano sinonimi i termini “**gruppo prostetico**” e “**coenzima**”, in effetti esiste una differenza

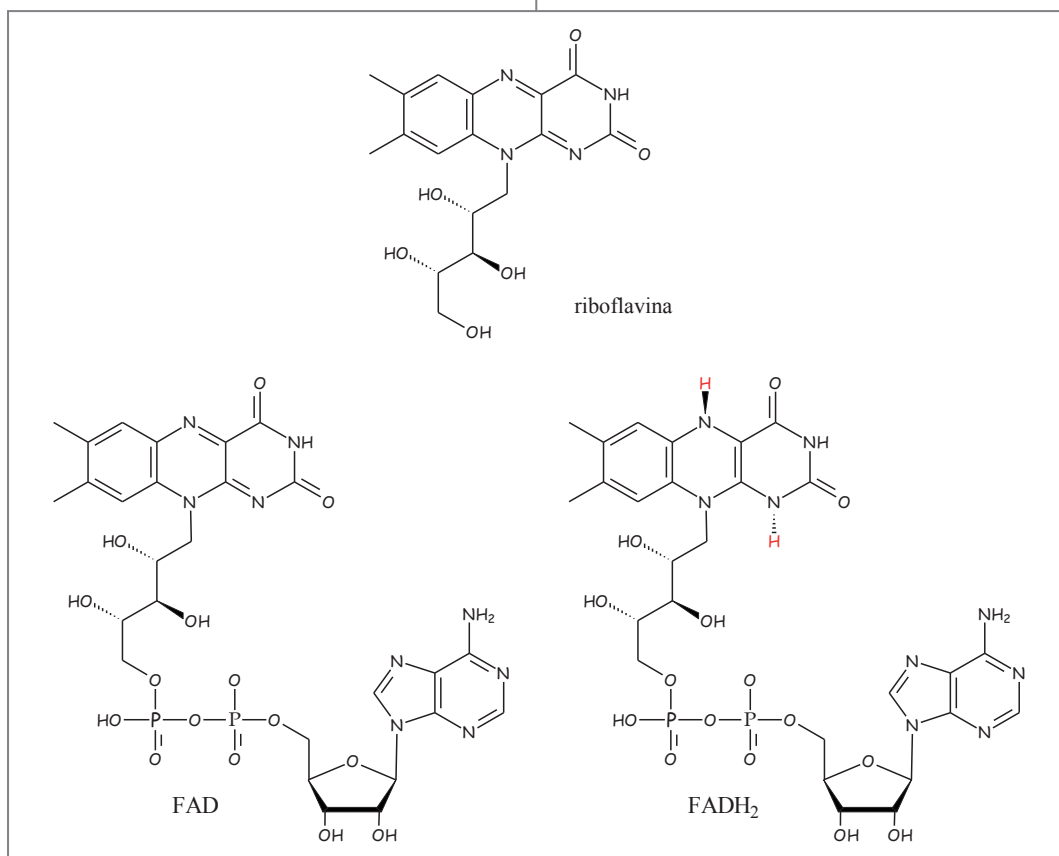


Figura 10.8 - Il sistema coenzimatico FAD – FADH<sub>2</sub> e la vitamina riboflavina.

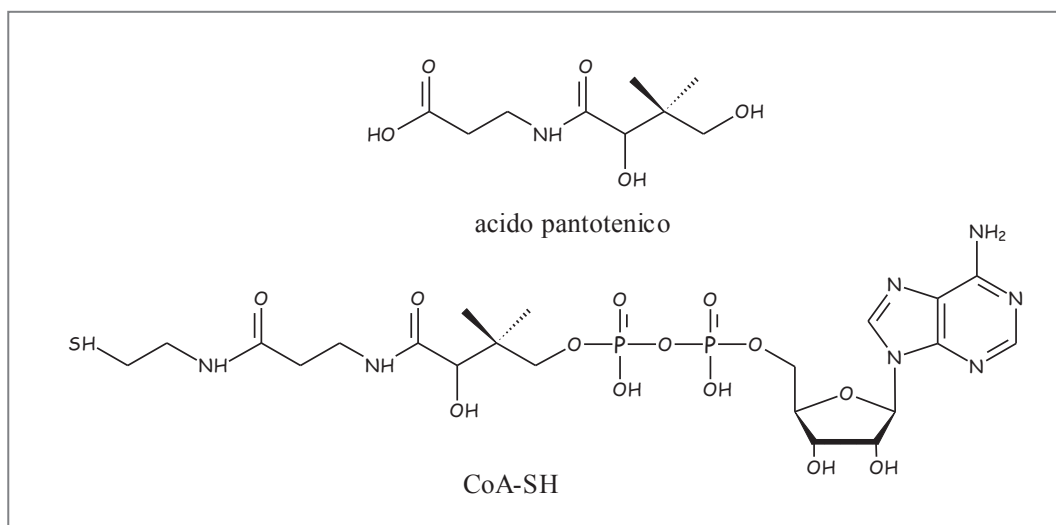


Figura 10.9 - Il coenzima acetilante (CoASH) e la vitamina acido pantoténico.

tra i due. Il gruppo prostetico partecipa direttamente alla reazione, ma rimane inalterato, ed è in questo un vero catalizzatore. Il coenzima, invece, pur partecipando direttamente alla reazione, ne rimane, in un certo senso, più coinvolto, tanto da poter essere considerato un "co-substrato". Per chiarire con un esempio: l'ATP fornisce uno o più radicali fosforici ed esce, pertanto, modificato dalla reazione cui ha partecipato. Per tornare come era prima deve partecipare ad un'altra reazione di fosforilazione.

I coenzimi, inoltre, partecipano alle reazioni in quantità cospicue, dello stesso ordine di grandezza dei substrati. Anche per questa ragione non sono dei veri catalizzatori.

Fra i coenzimi delle ossido-reduttasi ricordia-

mo i **nucleotidi nicotinamici**  $\text{NAD}^+$  (Fig. 10.7) e la variante **fosforilata**  $\text{NADP}^+$ , insieme ai **nucleotidi flavinici** **FAD** (Fig. 10.8) e **FMN**.

Fra i coenzimi trasportatori di gruppi si citano i trasportatori di gruppi ortofosforici come l'ATP (Fig. 10.5), l'ADP e l'AMP, con le varianti **GTP** (con la **guanosina** al posto della **adenosina**) ed **UTP** con la **uridina** al posto della **adenosina**.

Fra i trasportatori di gruppi acilici si ricorda il **coenzima acetilante** **CoASH** (Fig. 10.9) e la **tiamina difosfato** **TDP** (Fig. 10.10) per il trasporto di acetaldeide.

Si noti che in tutti questi casi, i coenzimi citati presentano alcune vitamine del complesso B nella struttura della loro molecola.

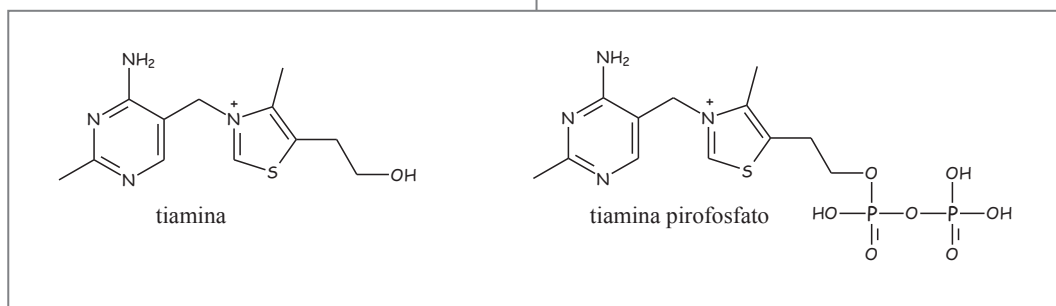


Figura 10.10 - La tiamina difosfato (TDP) e la vitamina tiamina.

# 17 Alimentazione della bovina da latte

Le bovine da latte di oggi, frutto del lavoro di miglioramento genetico di anni, nonostante tutto, rimangono dei ruminanti. Sono delle “macchine” forti produttrici di quantità di latte inimmaginabili solo pochi decenni fa e che, proprio per questo, sono estremamente delicate e vanno alimentate adeguatamente per evitare problemi di vario tipo.

La prima necessità da rispettare consiste nel fatto che i ruminanti necessitano di un'alimentazione ricca di fibra, ovvero di carboidrati strutturali, per rimanere in buona salute. Ma sappiamo che gli alimenti fibrosi sono ingombranti, ovvero limitano molto il consumo volontario di sostanza secca, e sono caratterizzati da avere un basso contenuto energetico. Ne consegue che, da soli, non possono garantire il soddisfacimento dei fabbisogni della bovina. C'è bisogno dell'apporto di adeguate quantità di concentrati. Come conciliare queste due esigenze?

Lo schema della figura 17.1 ci aiuta ad orientarci nel metabolismo della bovina da latte.

L'eccesso di fibra (carboidrati strutturali dello schema) comporta insufficiente apporto energetico con la razione. D'altra parte, l'eccesso di amido (carboidrati non strutturali) determina un'eccessiva produzione di acidi volatili nel rumine (**acidosi**).

Se si eccede in proteine nella razione, come anche nel caso di mobilitazione delle proteine muscolari in situazioni particolari di carenza, assistiamo ad un aumento della concentrazione di **urea** nel latte.

I grassi insaturi alimentari in eccesso fanno aumentare la quantità di acidi **bioidrogenati**, con riduzione della **metanogenesi** e dell'utilizzazione della fibra nel rumine. Mentre la mobilitazione dei grassi endogeni, come si verifica normalmente per carenza energetica durante il **picco di lattazione**, porta alla **chetosi**.

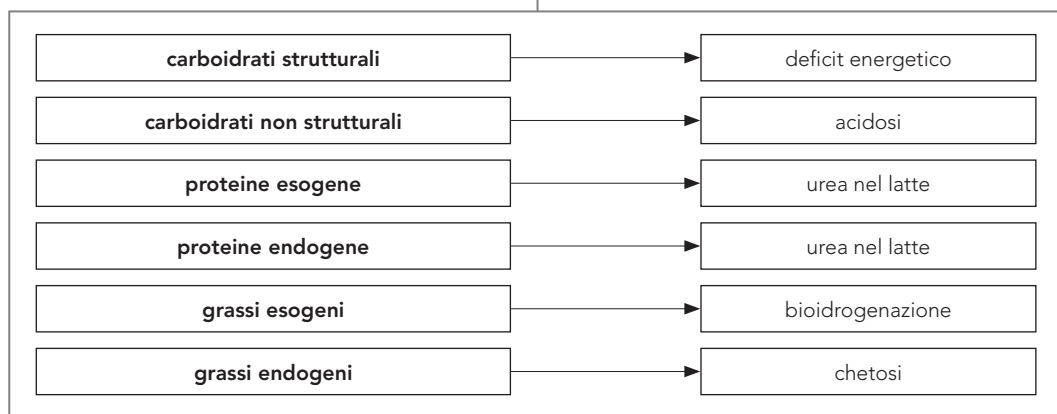


Figura 17.1 - Conseguenze dismetaboliche dovute agli eccessi dei nutrienti nei riquadri a sinistra dello schema.

## 17. Alimentazione della bovina da latte

**tosì**, situazione patologica dovuta all'accumulo di **corpi chetonici** nel fegato.

### 17.1 Controllo ormonale delle utilizzazioni metaboliche

Il controllo ormonale delle utilizzazioni metaboliche correlate con la produzione di latte nella bovina si può schematicamente limitare all'azione di quattro ormoni, fra loro antagonisti: il **GH**, ovvero il **somatotropo** o della crescita, l'**insulina**, il suo antagonista **glucagone** e il tireotropo **tiroxina**.

Il **GH** ha effetto mobilitante dei grassi di deposito e anabolizzante nei riguardi del parenchima della ghiandola mammaria.

L'**insulina** ha azione antagonista rispetto al GH. Immobilizza i depositi adiposi e non ha effetto stimolante sulla mammella.

Il **glucagone** stimola la **gluconeogenesi** e la **lipolisi**, ovvero favorisce l'attività della ghiandola mammaria fornendole glucosio ed energia. La **tiroxina** stimola il metabolismo basale favorendo le mobilitazioni dei depositi per brevi periodi. L'efficienza di rendimento di conversione dell'energia è bassa rispetto a quella

determinata dall'azione dell'ormone della crescita (si perde proporzionalmente più calore).

### 17.2 Modificazioni del metabolismo in lattazione

Ovviamente, in lattazione aumentano i fabbisogni rispetto al periodo dell'asciutta. L'energia, gli aminoacidi e i minerali che non siamo in grado di fornire con gli alimenti devono, per forza, provenire dalla mobilitazione delle riserve corporee (tessuti adiposo, muscolare e osseo).

La bovina cerca di rispondere alla aumentata domanda consumando di più, ma la produzione latte è massima alcune settimane prima che si raggiunga il massimo della capacità di consumo di sostanza secca.

Ne consegue che le forti produttrici vanno inevitabilmente in bilancio energetico negativo per le prime settimane di lattazione e devono poter contare sulla mobilitazione delle proprie riserve corporee.

Succede che:

- il **glucosio** per la sintesi del **lattosio** proviene in grandissima parte dalla **gluconeogenesi** del **propionato** e degli **aminoacidi**;

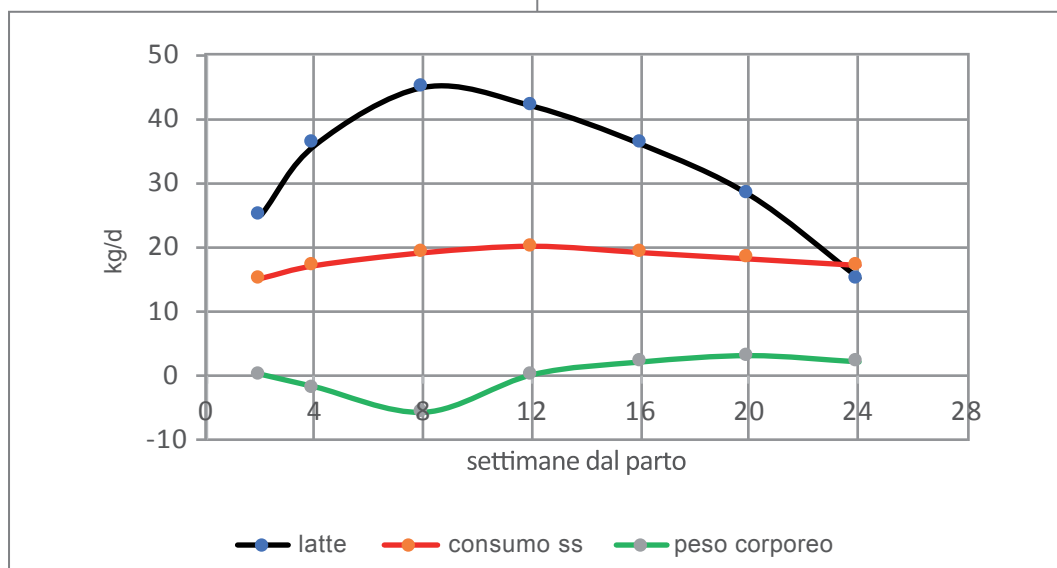


Figura 17.2 - Andamento della quantità di latte prodotto, consumo di sostanza secca e variazione del peso corporeo della bovina in lattazione.

## 17.2 Modificazioni del metabolismo in lattazione

- le **proteine labili dei muscoli** possono fornire **aminoacidi** per la sintesi delle **proteine del latte** e per la gluconeogenesi. Si può avere fino al 25% di mobilitazione della massa dei muscoli scheletrici;
- i **grassi mobilitati** dalle riserve corporee forniscono energia e, in parte, **acidi grassi a lunga catena** per la sintesi del **grasso del latte**. Il 50% circa del grasso del latte si forma a partire dall'**acido acetico**, catabolita finale della  **$\beta$  ossidazione** degli acidi grassi a lunga catena;
- l'efficienza di assorbimento intestinale del **Ca** e del **P** aumenta per sopperire alle perdite di questi due minerali nella produzione del latte.

La figura 17.2 mostra le variazioni:

- delle quantità di latte prodotto con il procedere della lattazione (curva di lattazione, linea nera), con il massimo intorno alle 8 settimane dal parto;
- del conseguente consumo volontario di sostanza secca (linea rossa), il cui massimo si ha intorno alla dodicesima settimana dal parto, in ritardo rispetto al picco del fabbisogno, picco che corrisponde al picco di lattazione;

- del peso corporeo che, proprio in corrispondenza del picco di lattazione, registra la massima diminuzione (linea verde).

Sappiamo che il consumo volontario di sostanza secca non è una costante, ma dipende dal volume di ingombro degli alimenti, ovvero dalla loro fibrosità da una parte e dalla concentrazione energetica dall'altra (Fig. 17.3), come abbiamo già osservato al capitolo del consumo volontario.

La bovina cui viene somministrata una dieta troppo fibrosa (curva rossa a sinistra della linea nera tratteggiata) non può ingerirne quantità sufficienti a soddisfare il proprio fabbisogno energetico. Nell'esempio della figura riesce ad ingerirne poco più di 10 kg di sostanza secca al giorno se la concentrazione di NDF è dell'ordine del 70%, mentre può arrivare a 20 kg di sostanza secca con l'NDF al 43%. Superata questa soglia, che è quella del soddisfacimento energetico, tenderà a ingerire quantità minori di sostanza secca (curva blu a destra della linea nera) perché ne bastano meno, essendo la dieta più concentrata energeticamente. Le linee tratteggiate dei consumi non sono reali, ovviamente.

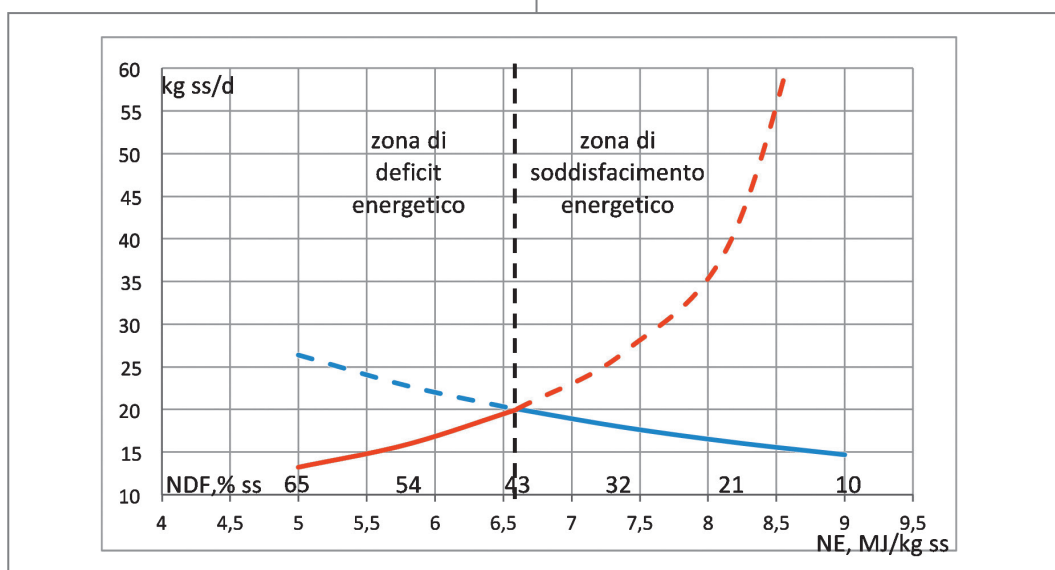


Figura 17.3 - Consumo volontario di sostanza secca in relazione alla concentrazione energetica ed alla concentrazione di fibra NDF della dieta

## 17. Alimentazione della bovina da latte

Le due curve sono caratterizzate dalle seguenti equazioni:

$$\text{kg/d ss} = \text{CI/NDF},$$

dove CI è una costante di capacità di ingestione e NDF è la concentrazione fibrosa (curva rossa) e

$$\text{kg/d ss} = \text{FB/NE},$$

dove FB è una costante di fabbisogno energetico e NE è la concentrazione di energia netta della dieta (curva blu).

La fibrosità o, se vogliamo, la concentrazione energetica della dieta, sono espressioni del rapporto foraggi/concentrati nella razione: i foraggi sono ricchi di fibra, mentre i concentrati sono ricchi di energia. Dal rapporto fra i due componenti dipendono le caratteristiche della dieta.

La figura 17.3 ci spiega perché la nostra super bovina, per arrivare ad ingerire 20 kg di sostanza secca al giorno deve disporre di una razione caratterizzata dal 43% di NDF e 6,6 MJ/kg di energia netta. Al di sotto e al di sopra di questi valori il consumo volontario di sostanza secca sarà inferiore, tanto più, quanto più ci si allontana dalla linea di demarcazione fra la zona di deficit e la zona di sod-

disfaticamento. Ma in ambedue i casi la bovina andrà incontro a disordini metabolici.

Infatti, nella zona di deficit l'animale sarà costretto a mobilitare le proprie riserve adipose con la conseguenza di procurarsi una **chetosi**; nella zona di soddisfacimento, l'eccesso di concentrati nella dieta determinerà una **acidosi** dovuta alla tumultuosa fermentazione ruminale dell'eccessiva quantità di carboidrati non strutturali nella dieta. È necessario, pertanto, curare il rapporto foraggi/concentrati che, oltre a garantirci il massimo consumo di sostanza secca, eviti la comparsa di disordini metabolici (Fig. 17.4).

Sia a sinistra che a destra della linea di demarcazione tratteggiata, il consumo di sostanza secca non riesce a garantire il 100% di soddisfacimento energetico che, invece, si raggiunge con una razione caratterizzata da un rapporto foraggi/concentrati di circa 60/40.

Il tecnico alimentarista dovrà cercare di formulare una dieta che si ponga il più possibile vicino alla linea verticale di demarcazione fra la zona di soddisfacimento energetico e quella di deficit. Ciò perché, sia a sinistra che a destra della linea di demarcazione, si hanno i già ricordati problemi di:

- **chetosi** se la bovina è costretta a mobilitare le proprie riserve corporee essendo in deficit energetico (troppa fibra e poca energia);

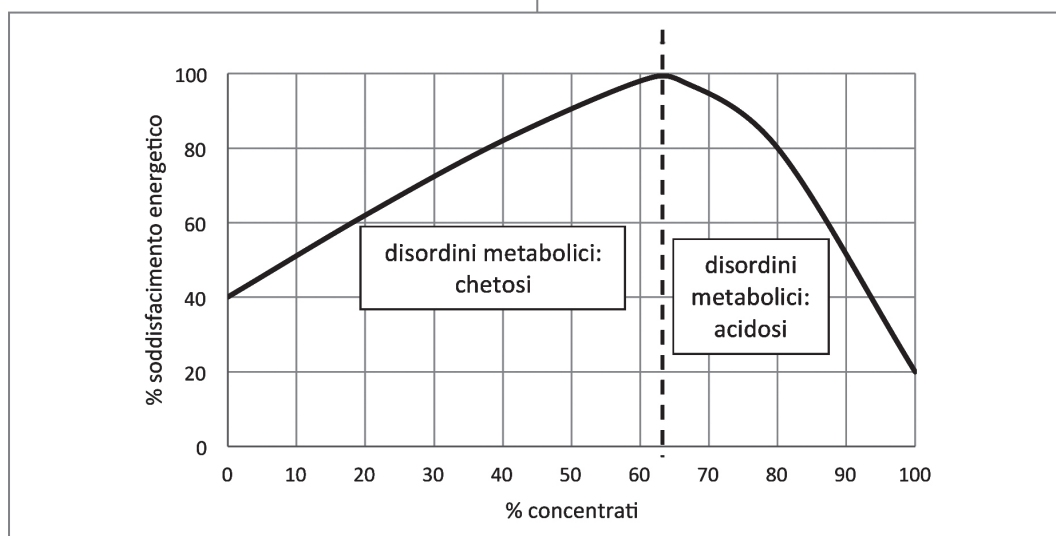


Figura 17.4 - Percentuale di soddisfacimento del fabbisogno energetico e rapporto foraggi/concentrati.

Tabella 17.1 - Composizione media del latte bovino

	Nel latte/kg	Nell'alimentazione/kg
proteine, g	35	50 (digeribili)
grassi, g	36	
lattosio, g	49	
ceneri, g	7	
calcio, g	1,2	3,7
fosforo, g	0,9	1,5
energia, MJ	3,05	5,08 (netta)

- **acidosi** se la bovina è alimentata con diete povere di fibra e troppo ricche di carboidrati non strutturali per il basso valore del rapporto foraggi/concentrati.

In questo ultimo caso si manifesta anche un calo della produzione di latte dovuto alla scarsa presenza di fibra, ovvero alla scarsa produzione di **acido acetico** nel rumine, acido che sta alla base della sintesi del grasso del latte, come abbiamo visto nel capitolo del metabolismo.

Il quadro dismetabolico descritto viene definito **Milk Fat Depression (MFD)** dalla letteratura anglosassone e comporta anche un peg-

gioramento della qualità del grasso del latte nel senso di un aumento della concentrazione degli **acidi grassi trans 10**.

Il corretto rapporto foraggi/concentrati deve garantire che l'animale possa volontariamente ingerire la maggior quantità di energia per sostenere l'elevato fabbisogno di produzione del latte senza creare problemi di dismetabolie o, comunque, limitandoli al massimo.

Ma il tecnico alimentarista deve anche curare che, all'interno della sostanza secca ingerita, non sia compresa soltanto l'energia necessaria per sostenere la produzione, ma anche tutto quanto di altro è necessario: proteine, minerali, precursori del grasso, vitamine.

Per far questo deve tener conto della composizione media del latte bovino, presentata nella tabella 17.1.

In particolare, è importante anche il rapporto energia/proteine digeribili nella razione perché l'effetto di stimolazione di una unità di energia in più dipende da questo rapporto: l'effetto diminuisce quando le proteine sono in difetto, come quando sono in eccesso.

La figura 17.5 dimostra con la grafica che il fieno da solo (linea verde) non è mai sufficiente a sostenere il fabbisogno energetico della bovina in lattazione, tranne a 10 mesi dal parto, all'inizio del periodo dell'asciutta, nel nostro esempio. Durante la lattazione, è necessaria la peg-

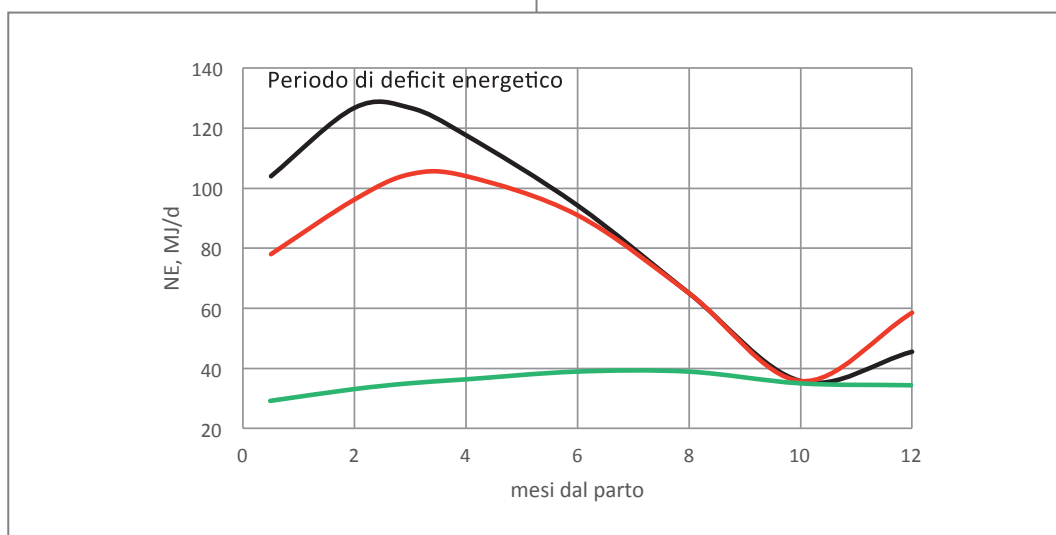


Figura 17.5 - Quote di energia apportate dal fieno (linea verde), dai concentrati (linea rossa) e fabbisogno totale (linea nera).

## 17. Alimentazione della bovina da latte

senza della componente concentrati. La linea rossa rappresenta l'apporto energetico totale dell'insieme foraggio e concentrati.

Se la linea nera indica l'andamento dei fabbisogni nel tempo, si vede chiaramente che l'energia della razione completa riesce a coprirli solo a partire da 6-7 mesi dal parto. Da quel momento si può cominciare a diminuire la quota di concentrati nella razione fino ad annullarla a 10 mesi.

Per i primi sei mesi, la bovina sarà costretta, comunque, a mobilitare le proprie riserve corporee, essendo in zona deficit.

Con l'inizio dell'asciutta, i fabbisogni aumentano per riprendere il peso perduto nella prima fase della lattazione (linea nera). Ed è consigliabile non lesinare i concentrati (linea rossa) perché da questa fase dipende la carriera futura della bovina.

### 17.3 Stima dei fabbisogni

Vedremo più avanti che i più aggiornati modelli di espressione del valore nutritivo degli alimenti, come il CNCPS o l'INRA, oltre a presentare delle tabelle con le composizioni dei nutrienti ed i contenuti di energia metabolizzabile o netta, a seconda del modello, presentano anche delle tabelle con i fabbisogni degli animali in produzione.

Puramente a titolo orientativo, ecco qui di seguito una equazione di stima del fabbisogno di energia netta delle bovine in lattazione:

$$NE_l \text{ (MJ/d)} = 3,4 \text{ FCM} + 0,043 \text{ BW} + 5,02$$

dove FCM = *Fat Corrected Milk*, kg/d  
e BW = peso corporeo (*Body Weight*), kg.

Il FCM, ovvero la quantità teorica di latte al 4% di grasso prodotto al giorno e corretto per la percentuale di grasso che effettivamente contiene, si calcola con la seguente formuletta

$$\text{FCM (kg/d)} = \text{Latte prodotto (kg/d)} \times \\ \times (0,4 + 0,15 \times \% \text{ grasso effettivo})$$

Gli altri fabbisogni si stimano con le seguenti equazioni;

$$\text{PDI (g/d)} = 49,9 \text{ FCM} + 0,5 \text{ BW} + 98$$

$$\text{Ca (g/d)} = -0,0343 \text{ FCM}^2 + 4,391 \text{ FCM} + \\ + 0,06 \text{ BW} + 3,343$$

$$\text{P (g/d)} = -0,01 \text{ FCM}^2 + 1,8 \text{ FCM} + 0,05 \text{ BW} + 0,6$$

$$\text{NDF (g/d)} = 90 \text{ FCM} + 2,7 \text{ BW} + 1620$$

dove PDI sono le proteine digeribili, Ca e P sono i fabbisogni di calcio e fosforo e NDF esprime il fabbisogno giornaliero di NDF. Da notare che questo fabbisogno deve essere coperto per almeno il 75% dall'NDF del foraggio per evitare problemi da acidosi.

Tutte queste equazioni sono state messe a punto nel 2006 nell'allora Dipartimento di Scienze Zootecniche dell'Università di Firenze (Antongiovanni, dati non pubblicati).

Facciamo l'esempio di una bovina di 550 kg di peso (BW), che produca 42 kg di latte al giorno, al 3.4% di grasso. La quantità di latte corretta per il grasso è:

$$\text{FCM (kg/d)} = 42 \times (0,4 + 0,15 \times 3,4) = 38,22$$

I suoi fabbisogni sono allora:

$$NE_l \text{ (MJ/d)} = 3,4 \times 38,22 + 0,043 \times 550 + 5,02 = 159$$

$$\text{PDI (g/d)} = 49,9 \times 38,22 + 0,5 \times 550 + 98 = 2280$$

$$\text{Ca (g/d)} = -0,0343 \times 38,22^2 + 4,391 \times 38,22 + \\ + 0,06 \times 550 + 3,343 = 154$$

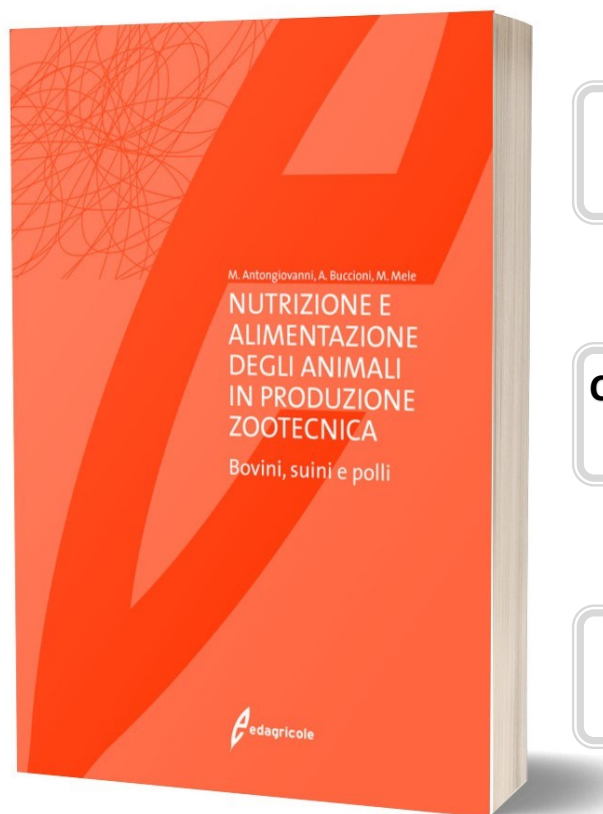
$$\text{P (g/d)} = -0,01 \times 38,22^2 + 1,8 \times 38,22 + 0,05 \times \\ \times 550 + 0,6 = 82$$

$$\text{NDF (g/d)} = 90 \times 38,22 + 2,7 \times 550 + 1620 = 6545$$

I fabbisogni energetici si esprimono in termini di energia netta, mentre i contenuti degli alimenti possono essere espressi in termini di energia metabolizzabile. Perché sia possibile interfacciare i due termini, si fa riferimento al valore della metabolizzabilità ( $q = \text{ME/GE}$ ) della dieta, da cui ricavare il valore di  $k_1 = 0,24 q + 0,463$ .



# Nutrizione e alimentazione degli animali in produzione zootecnica



**Clicca QUI per  
ACQUISTARE il libro ONLINE**

**Clicca QUI per scoprire tutti i LIBRI  
del catalogo EDAGRICOLE**

**Clicca QUI per avere maggiori  
INFORMAZIONI**