

LA CONSERVAZIONE DEI FORAGGI

APPUNTI DALLE LEZIONI (bozze – Maggio 2005)

*A cura di:
Egidio Ciricofolo e Andrea Onofri*

Dipartimento di Scienze Agroambientali e della Produzione Vegetale
Sezione di Agronomia e Coltivazioni erbacee
Borgo XX Giugno 74
06121 PERUGIA
Tel: 075-5856324
onofri@unipg.it

DISTRIBUZIONE TEMPORALE DELLA PRODUZIONE FORAGGERA E NECESSITA' DELLA SUA CONSERVAZIONE

Le esigenze alimentari degli animali sono pressoché costanti nel corso dell'anno, mentre la produzione di foraggi verdi di un sistema foraggero non è mai continua, ma si concentra in determinati periodi, subendo invece un arresto durante le stagioni fredde e/o durante quelle calde e secche. Questo problema può essere parzialmente risolto con un'accurata diversificazione di:

- colture (prati, erbai);
- specie e varietà (diversificate per la precocità);
- epoche di semina;
- tecniche colturali (si pensi all'adozione di irrigazioni termiche, come nel caso delle marcite).

In questo modo si possono creare delle vere e proprie catene di foraggiamento, con una produzione di foraggio verde abbastanza continua e regolare. La tabella 1 mostra le risorse foraggere che si possono utilizzare nei diversi momenti della stagione.

Dall'analisi della tabella si può notare che una diversificazione delle colture sufficientemente efficace è possibile solo se si dispone di risorse idriche sufficienti a coltivare erbai estivi; comunque, rimangono momenti di carenza collegati con la stagione invernale. Inoltre, una piena diversificazione delle colture e delle varietà è ostacolata anche dal fatto che il terreno destinato ad erbai autunno vernini, necessari per incrementare la disponibilità foraggera invernale, è comunque una scelta costosa, perché sottrae terreno a colture più produttive.

Le soluzioni adottate per risolvere il problema della distribuzione stagionale delle risorse foraggere possono essere diverse, a seconda delle condizioni economiche e/o climatiche delle aree interessate.

- Nei Paesi in Via di Sviluppo dove, di norma, le condizioni sono più difficili, sia sotto l'aspetto economico che climatico, l'unica soluzione è il nomadismo: gli animali si spostano in continuazione seguendo le ricrescite dell'erba dopo le piogge. Quando queste ultime sono insufficienti, o ritardano rispetto all'epoca usuale, si ricorre all'erba secca (se è rimasta), a foglie e cortecce di alberi o ai residui delle colture; comunque, le perdite di peso degli animali sono importanti, fino alla perdita di capi quando le condizioni diventano particolarmente severe.
- Nei Paesi ad agricoltura avanzata, con adeguate risorse economiche e condizioni ambientali meno difficili, ormai da tempi remoti si provvede a costituire le scorte di foraggi (anche concentrati) durante i periodi di maggiore accrescimento delle colture foraggere; questo per poter realizzare un razionamento regolare e costante durante tutto l'anno, come richiesto dagli allevamenti intensivi, tipici di queste zone.

Oggigiorno la conservazione del foraggio è ancor più necessaria poiché il razionamento degli animali domestici non è più basato (come una volta) sull'erba fresca, bensì sulla tecnica dell'*unifeed*, che prevede una razione costante nel tempo, basata su insilati e opportunamente integrata con fieni e concentrati.

Tabella 1 - Distribuzione stagionale della produzione delle principali colture foraggere, utilizzabili in sistemi foraggeri realizzabili nelle zone pianeggianti o della media collina umbra.

Mese	Culture foraggere	Produzione media (t di s.s. ha ⁻¹)
Gennaio	Pascoli naturali ed incolti	0.5
	Erbai di orzo o avena e loro consociazioni (pascolamento)	0.5
	Erbai di crocifere (foraggiamento verde)	3-4
Febbraio	Pascoli naturali ed incolti	0.5-1

	Erbai di orzo o avena e loro consociazioni (pascolamento)	0.5-1
	Erbai di crocifere (foraggiamento verde)	3-4
Marzo	Pascoli naturali ed incolti	1
	Erbai di orzo o avena e loro consociazioni (pascolamento)	1
Aprile	Pascoli naturali	2
	Erbai di loiessa o segale (alla spigatura per foragg. verde)	4-5
Maggio	Pascoli naturali	3
	Erbai di loiessa o segale (alla spigatura)	5-6
	1° taglio erba medica (all'inizio della fioritura)	5-6
Giugno	Pascoli naturali	3-4
	Erbai di orzo o avena (alla maturazione cerosa)	7-9
	Erbai di loiessa (all'inizio della spigatura)	8-10
	1° taglio di sudan-grass (inizio fioritura)	2-3
Luglio	Pascoli naturali alta collina	4-5
	2° taglio di sudan-grass (all'inizio fioritura)	2-3
	2° taglio di erba medica (alla fioritura)	4-5
Agosto	Pascoli naturali in montagna	2-3
	3° taglio di erba medica (fioritura)	2-3
	3° taglio di sudan-grass (inizio fioritura)	2-3
	Granturchino (coltura intercalare dopo cereali a paglia)	2-3
	Risorse arbustive, arboree e forestali	variabile
Settembre	Pascoli naturali di alta montagna	2-3
	Mais (alla maturazione cerosa)	15-18
	Granturchino (coltura intercalare dopo cereali a paglia)	2-3
	Pascolamento di stoppie di cereali	variabile
	Risorse arbustive, arboree e forestali	variabile
Ottobre	Pascoli naturali	2
	Granturchino (coltura intercalare dopo cereali a paglia)	2-3
	Mais in coltura intercalare (alla maturazione cerosa)	7-14
	Sorgo in coltura intercalare dopo cereali (alla spigatura)	2-3
Novembre	Pascoli naturali ed incolti	0.5
	Erbai di orzo o avena e loro consociazioni (pascolamento)	0.5
	Erbai di crocifere (foraggiamento verde)	3-4
Dicembre	Pascoli naturali ed incolti	0.5
	Erbai di orzo o avena e loro consociazioni (pascolamento)	0.5
	Erbai di crocifere (foraggiamento verde)	3-4

I foraggi non possono essere conservati così come raccolti, ma debbono essere opportunamente trasformati in quanto l'erba, per il suo alto contenuto in acqua, andrebbe incontro a un rapido deterioramento. La trasformazione dell'erba (foraggio instabile) deve essere quanto più rapida possibile così da ottenere un prodotto stabile, adatto a una lunga conservazione (fieno, insilato, ecc.), che conservi al massimo le qualità nutritive presenti al momento della raccolta.

Il processo di trasformazione deve interrompere nel più breve tempo possibile tutti i processi dovuti a enzimi, batteri, lieviti e muffe che potrebbero deteriorare il foraggio, favorendo, nel contempo, quelli utili alla conservazione del prodotto e delle sue qualità.

La stabilizzazione del foraggio può avvenire con due modalità:

- per “**via secca**” (fisica): è rappresentata prevalentemente dalla fienagione che consiste nel far perdere acqua al foraggio portando il contenuto di sostanza secca dal 15-18% iniziale a circa l'85%. A queste condizioni la pianta è già morta, quindi i suoi enzimi sono diventati inattivi e lo sviluppo delle muffe è impossibile per la scarsità di acqua.
- per “**via umida**” (biochimica): rappresentata dall'insilamento, con il quale la “stabilizzazione” del foraggio è ottenuta mediante la creazione di condizioni di anaerobiosi (l'assenza di ossigeno blocca i batteri e le muffe aerobi della putrefazione) e la riduzione del pH a livelli

tali da impedire lo svilupparsi di microrganismi putrefattivi anaerobi, come i batteri butirrici.

E' bene non dimenticare che conservando il foraggio c'è sempre una riduzione di nutrienti sia in termini quantitativi che qualitativi, intesi questi ultimi come digeribilità e consumo volontario da parte dell'animale; l'entità delle perdite varia con la specie vegetale e con l'efficienza tecnica del metodo di conservazione.

Nella conservazione dei foraggi debbono essere tenuti presenti:

- aspetti economici dell'efficienza (oneri della trasformazione dello stato dell'erba);
- immobilizzo di capitali;
- spese annue;
- tempi e organizzazione del lavoro;
- condizioni di lavoro degli operatori;
- riduzione dell'inquinamento ambientale (*input* energetici).

FIENAGIONE

La fienagione è una tecnica di conservazione del foraggio conosciuta già dal VII secolo a.C. nella regione dell'attuale Inghilterra.

Con il termine fienagione si intende l'evaporazione dell'acqua contenuta nei tessuti del foraggio, sotto l'effetto della radiazione solare, dell'energia convettiva dell'aria e del vento. Nel corso di questo processo il contenuto in acqua del prodotto passa dall'80-85%, circa (al momento del taglio), a meno del 20% (fig. 1); con questa disidratazione si consegue il blocco di tutti i processi, soprattutto putrefattivi, che porterebbero alla distruzione del materiale. Per ridurre i tempi di essiccamento e, quindi, i rischi meteorologici legati alla permanenza dell'erba sul terreno, la fienagione naturale è spesso accelerata con interventi meccanici quali, ad esempio, spandimento e rivoltamento del foraggio per facilitare la sua aerazione e ottenere un'esposizione omogenea ai raggi del sole.

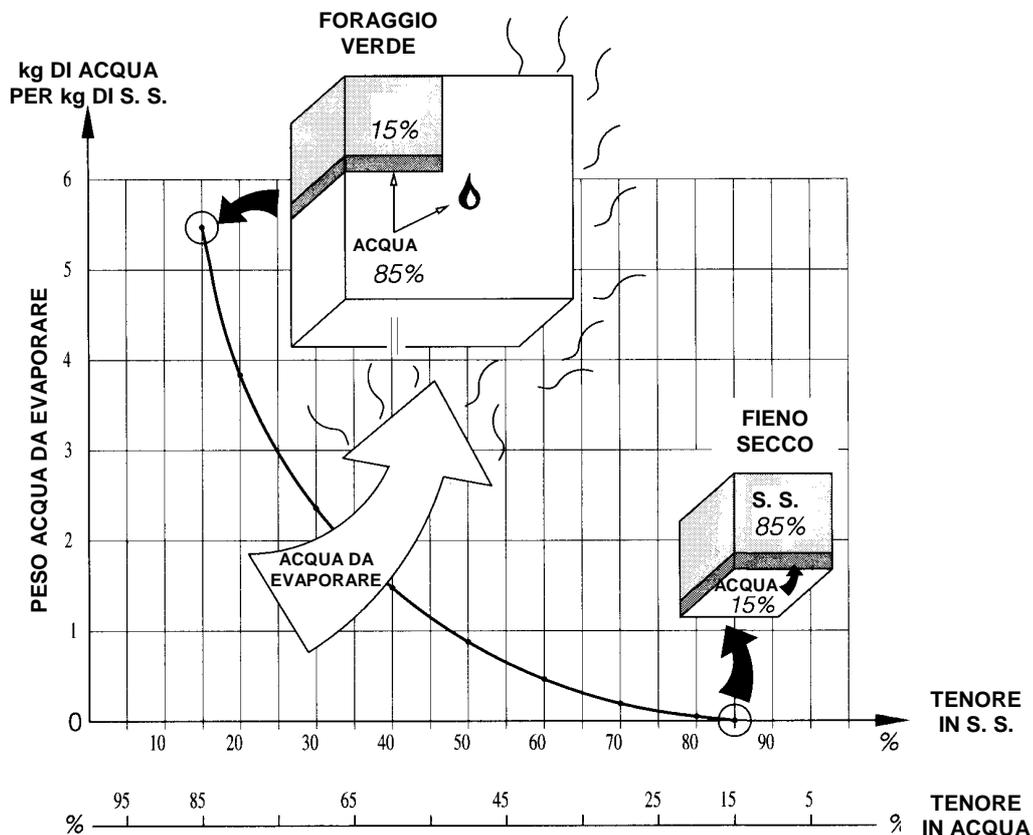


Figura 1 - Peso dell'acqua da evaporare per ogni kg di sostanza secca per ottenere un fieno stabilizzato all'85% di sostanza secca (da: CEMAGREF, 1995).

Poiché l'energia per l'essiccamento dell'erba deriva dalla radiazione solare è importante avere un adeguato numero consecutivo di giorni favorevoli all'essiccamento in coincidenza degli stadi colturali adatti alla raccolta. E' bene rammentare che la fienagione è, spesso, una operazione a rischio.

FASI DELLA FIENAGIONE

Il processo di fienagione si compone di diverse fasi, come illustrato nella figura 2; ognuna di queste fasi verrà commentata singolarmente.

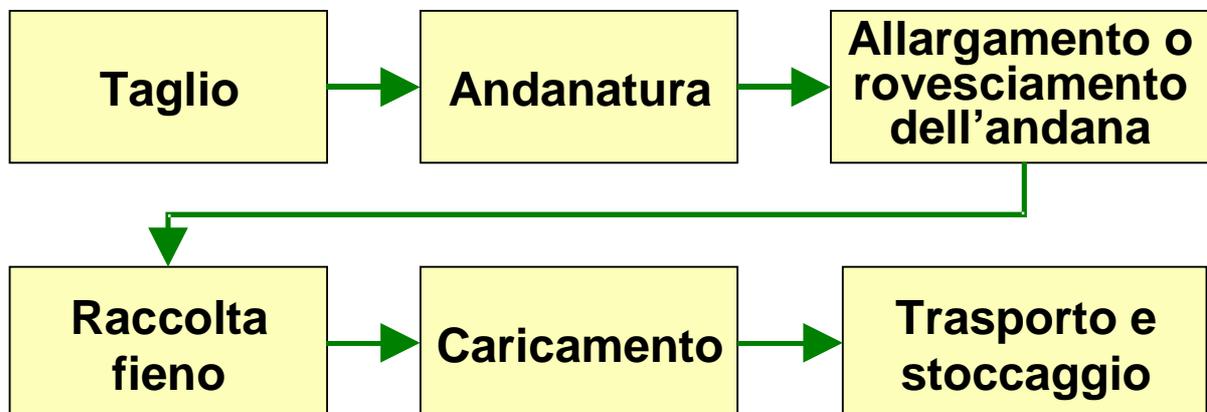


Figura 2 – Fasi successive della fienagione

Taglio della coltura

◆ *Momento del taglio.* La prima fase della fienagione corrisponde al taglio della coltura che, come accennato in precedenza, deve essere effettuato nel momento ottimale, per ottenere un rapporto favorevole tra quantità e qualità della produzione.

A questo proposito si deve ricordare che, soprattutto nelle graminacee, l'accrescimento è accompagnato da profonde modificazioni nella struttura e nella composizione delle piante per l'arresto dell'emissione di nuove foglie e la comparsa dei culmi; ne consegue un peggioramento qualitativo del foraggio per la riduzione del rapporto tra foglie e steli.

Nell'esempio riportato in figura 3, riferito a *Lolium multiflorum* var. *italicum*, si nota come la presenza di lamine fogliari si riduca dal 70% al 20% passando dallo stadio "spiga a 10 cm" (prime fasi dell'allungamento dei culmi) a quello di fioritura. La maggior presenza di culmi, con i loro tessuti di sostegno, porta ad un aumento del contenuto in fibra (cellulosa e lignina) e a una diminuzione del valore energetico e proteico del foraggio.

Nelle leguminose, tipo erba medica e trifoglio pratense, le variazioni hanno lo stesso andamento, ma si manifestano in modo meno accentuato. Infatti, rispetto alle graminacee, c'è una minore riduzione del rapporto foglie/steli, mentre le foglie conservano un maggior contenuto di nutrienti; ne consegue una più lenta perdita di valore nutritivo del foraggio.

Da quanto sopra detto è chiaro che per non compromettere la qualità del foraggio sarebbe opportuno anticipare il taglio primaverile e farlo coincidere con l'inizio della spigatura per i prati di graminacee e con l'inizio della fioritura per i prati di leguminose. Tuttavia, utilizzazioni anticipate non sono convenienti in quanto è ancora poca la biomassa prodotta e la ricostituzione delle risorse radicali della pianta potrebbe non essere ancora completata, compromettendo i futuri ricacci. In caso di consociazione tra graminacee e leguminose, tenendo conto il diverso comportamento delle due famiglie botaniche, è opportuno privilegiare lo stadio della graminacea e falciare all'inizio della spigatura di quest'ultima.

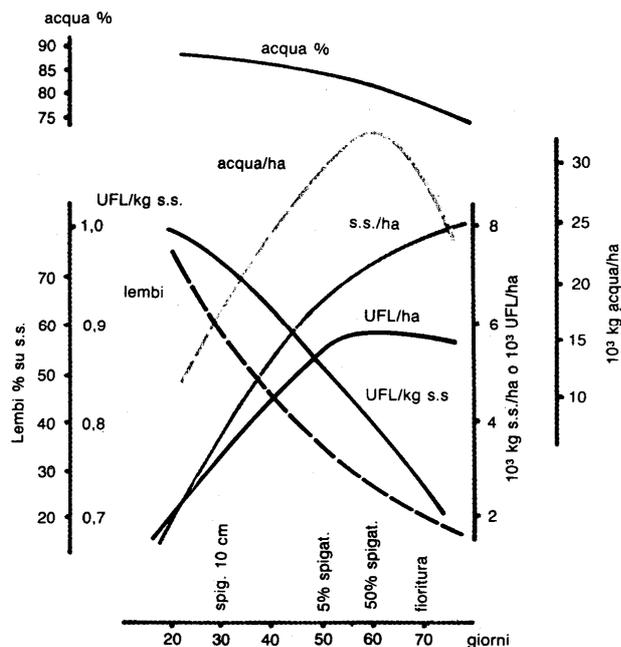


Figura 3 - Andamento del rapporto tra lembi fogliari e produzione totale, del contenuto in acqua, della quantità d'acqua, del valore nutritivo della sostanza secca e delle UFL prodotte a ettaro, nel corso del primo ciclo di vegetazione del loglio italiano (da: Demarquilly, 1987).

Purtroppo nella pratica operativa lo sfalcio viene quasi sempre ritardato, fino a superare lo stadio di fioritura (o spigatura). Questa apparente incongruenza è giustificata da diversi motivi:

- ritardando si ha un aumento di sostanza secca nei tessuti delle piante, pertanto diminuisce la quantità di acqua da evaporare (tab. 2): siamo all'inizio della primavera e la radiazione solare non è ancora molto intensa;

Tabella 2 - Acqua totale e da evaporare per ottenere un fieno stabile (85% di s.s.): $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ di sostanza secca di foraggio in funzione del suo contenuto di sostanza secca o di acqua (da: Ciotti ,1992).

Sostanza secca (%)	Acqua (%)	kg di acqua/kg di s.s.	kg di acqua da evaporare per avere un kg di fieno (85% s.s.)
15	85	5,67	5,49
20	80	4,00	3,82
25	75	3,00	2,82
30	70	2,33	2,16
40	60	1,50	1,32
50	50	1,00	0,82
60	40	0,67	0,49
70	30	0,43	0,25
80	20	0,25	0,07
85	15	0,18	0,0

- avanzando la stagione le condizioni climatiche diventano più favorevole all'essiccamento (maggiore radiazione, giorni più lunghi);
- la presenza di steli più rigidi conferisce maggiore sofficià allo strato di foraggio (andana) in essiccazione;
- l'erba più matura e fibrosa subisce minori perdite di fienagione.

Gli sfalci successivi al primo trovano migliori condizioni meteorologiche, salvo l'ultimo ricaccio autunnale che, spesso, non può essere affienato per la scarsa potenzialità evaporativa

dell'atmosfera.

◆ *Altezza di taglio.* Oltre al momento del taglio, è importante considerare anche l'altezza di taglio, perché nelle piante poliennali, questa influenza la velocità e l'entità del ricaccio. In genere, è sconsigliabile un taglio troppo vicino alla superficie del terreno, perché in questo modo rimangono sul campo solo le gemme basali (localizzate vicino alla superficie del terreno) che sono le più lente a ricacciare e le meno vigorose.

PROCESSI FISICI, CHIMICI E BIOCHIMICI DOPO IL TAGLIO

Dopo essere stata falciata, la massa foraggera rimane sparsa sul terreno, esposta all'azione del sole, subendo un processo di essiccazione più o meno veloce, durante il quale avvengono anche modificazioni fisiche e chimiche del foraggio. Queste modificazioni sono molto importanti perché si ripercuotono sul valore nutritivo e sulla capacità di ingestione da parte degli animali; le modificazioni sono legate:

- ai processi enzimatici della pianta (post-taglio);
- alle perdite meccaniche;
- alla lisciviazione dei costituenti solubili (in caso di pioggia).

Essiccazione del foraggio

Per affienare un primo taglio, di norma, debbono essere evaporate intorno a $25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ di acqua, pari a 2,5 mm; questo valore corrisponde, pressappoco, al consumo evapotraspiratorio giornaliero di un prato, solo che per completare l'essiccazione necessitano, invece, 3-4 giorni climaticamente favorevoli.

La perdita di acqua per evaporazione è lenta perché ostacolata sia dalla resistenza al suo movimento "entro pianta", per la presenza della cuticola e della tensione osmotica, che per un alto stato igrometrico negli interstizi dell'andana in essiccazione, dove l'acqua evaporata ristagna prima di diffondere nell'atmosfera.

◆ *Resistenze dovute alla pianta.* Il tasso di perdita dell'acqua (kg di acqua persa nell'unità di tempo per kg di s.s.) non è costante. Subito dopo il taglio è elevato perché l'acqua contenuta nei vasi e negli spazi intercellulari è piuttosto "libera" per la presenza di stomi ancora aperti, ma entro 1-2 ore si verifica una forte riduzione, per la chiusura di queste aperture, conseguente alla perdita di turgore cellulare (fig. 4).

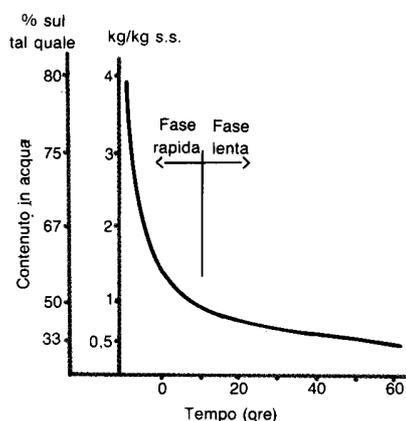


Figura 4 - Andamento dell'essiccazione di erba di loglio italiano in strato sottile e atmosfera controllata (flusso d'aria: $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $20 \text{ }^\circ\text{C}$, 50% UR) (da: Jones, 1979).

Da questo momento in poi l'acqua, per diffondere nell'atmosfera, deve superare diversi ostacoli, quali: le pareti cellulari, l'epidermide e la cuticola che, con il suo strato ceroso, rappresenta l'impedimento maggiore; ne risulta un tasso di perdita decrescente, tanto che per ogni ulteriore perdita di acqua necessiterà un tempo progressivamente maggiore.

Tra le diverse parti della pianta le lamine fogliari nelle graminacee e la foglia intera nelle leguminose seccano più rapidamente degli steli per il maggiore rapporto superficie/volume, la maggiore densità degli stomi e il minore spessore della cuticola; quando queste sono secche gli steli presentano ancora almeno 1/3 del contenuto originario di acqua.

Esistono forti differenze (in qualche caso più del doppio a parità di sviluppo) anche tra le

famiglie botaniche e, al loro interno, tra le specie (fig. 5).

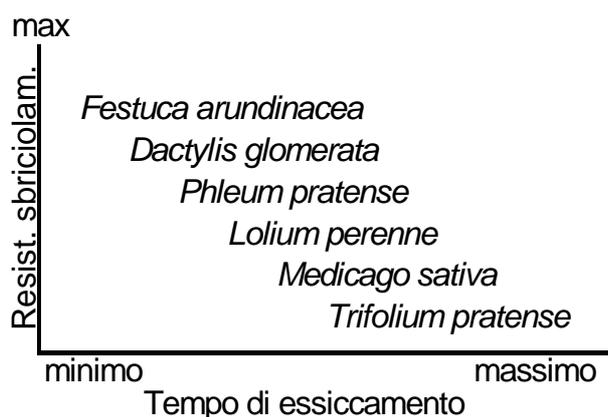


Figura 5 - Rapidità di essiccazione e resistenza allo sbriciolamento di alcune specie foraggere (da: Ciotti, 1992).

Le differenze dovute alla pianta si manifestano maggiormente nelle fasi avanzate della fienagione; inizialmente il fattore limitante è rappresentato dall'aria saturata di acqua presente entro lo strato del foraggio in essiccazione.

◆ *Resistenze dovute allo strato in essiccazione.* La radiazione solare è intercettata prevalentemente dalla superficie esterna dello strato che, pertanto, secca rapidamente (è stato calcolato che a 20 mm sotto la superficie la radiazione si riduce del 50%), mentre l'aria interstiziale all'interno dell'andana si carica di umidità, ostacolando l'ulteriore fuoriuscita di vapore dai tessuti per riduzione del gradiente di umidità. Le cose migliorano successivamente quando, per il ridursi della densità dello strato, c'è una sempre maggiore penetrazione della radiazione e un migliore ricambio dell'aria che porta a un aumento del gradiente di umidità tra foraggio e atmosfera interna.

In una normale fienagione, in condizioni di bel tempo, i tassi di evaporazione delle fasi iniziali si aggirano su 0,4-0,5 kg di acqua per kg di sostanza secca e per ora, mentre nelle fasi successive, pur con variabilità legate alla specie, scende a circa 0,1 kg.

Nelle fasi finali l'essiccazione può procedere solo se si verificano condizioni concomitanti di alte temperature e bassa umidità relativa dell'aria; per una rapida perdita di acqua il deficit di saturazione non dovrebbe essere inferiore a 6-7 g di acqua per m³ di aria, condizioni che si possono avere solo nel pomeriggio. La fienagione è facilitata da condizioni di alto deficit di saturazione dell'aria e/o da basse produzioni di foraggio, mentre è ritardata da elevate produzioni unitarie (fig. 6), conseguibili con interventi tecnici, quali irrigazione e concimazioni, che aumentano la biomassa e la rendono più ricca di acqua.

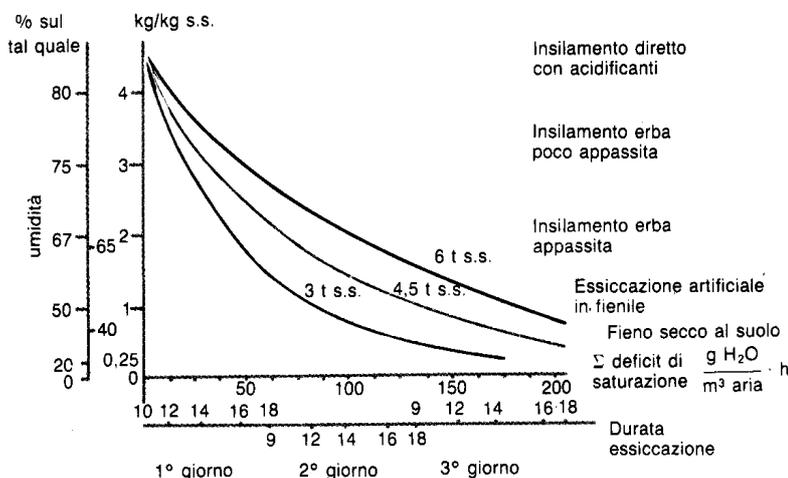


Figura 6 - Andamento dell'essiccazione durante la fienagione per differenti produzioni unitarie di erba (da: Luder, 1974, mod.).

Processi enzimatici

◆ *Respirazione*. Dopo il taglio la pianta continua a respirare e questo atto vitale permane fino a quando il contenuto di sostanza secca (della pianta) non raggiunge il 70-80%; come è noto la respirazione corrisponde a una combustione:



con perdite di sostanza secca del 6-8%, che in casi di cattiva fienagione (es.: piogge) possono arrivare fino al 20%.

La respirazione aumenta con la temperatura dell'aria e l'umidità dell'erba.

◆ *Proteolisi*. Parte delle proteine insolubili sono degradate ad azoto solubile con aumento di azoto non proteico in questa frazione; le perdite variano tra circa 0 e il 45% delle proteine, a seconda della rapidità di essiccazione.

◆ *Altre modificazioni enzimatiche*. Coinvolgono soprattutto le vitamine; si ha: diminuzione delle vitamine A e B; pressoché totale scomparsa della C; aumento della D.

Perdite meccaniche

Durante tutte le operazioni della fienagione (taglio, essiccamento, rivoltamenti, andature e pressatura) si hanno perdite, soprattutto a carico delle parti più secche e più fragili (foglie) che si distaccano e rimangono sul terreno; le perdite possono arrivare al:

- 5-15% nelle graminacee (le lamine fogliari sono abbastanza resistenti);
- fino al 35% nelle leguminose e sono costituite prevalentemente da foglie (picciolo molto fragile).

Le perdite, irrilevanti alla falciatura, crescono durante l'essiccamento in funzione:

- del numero ed "energia" dei trattamenti meccanici subiti dal foraggio;
- del contenuto in acqua del foraggio;
- della delicatezza delle strutture vegetative.

Variazioni del valore nutritivo

Anche la composizione chimica e il valore alimentare del fieno variano molto durante l'essiccamento, in funzione:

- delle qualità del foraggio verde al momento del taglio;
- delle condizioni meteorologiche durante la fienagione;
- delle condizioni di conservazione del fieno.

In condizioni normali il fieno perde, rispetto all'erba "di origine", in termini di digeribilità (circa 5,5 punti), valore energetico (circa 0,09 UFL) e sostanze azotate digeribili (circa 17 g·kg⁻¹ di sostanza secca). Le perdite dipendono da diversi fattori.

- Nelle leguminose le perdite meccaniche sono superiori che nelle graminacee e in altre famiglie botaniche, per la fragilità delle lamine fogliari e dei piccioli.
- Le condizioni climatiche (presenza o assenza di piogge) durante la fienagione e la durata dell'esposizione al sole hanno importanza sulle perdite di digeribilità; è stato calcolato che tali perdite sono, mediamente, del 6% in caso di fieno ottenuto in assenza di piogge, dell'8-9% con un minimo di pioggia e del 13%, e oltre, in caso di pioggia ed esposizione del fieno all'aria per oltre 10 giorni.
- Anche lo stadio delle piante al momento del taglio può avere la sua influenza sulle modificazioni, che aumentano con l'anticipo della raccolta.

Alle perdite di valore nutritivo sopra esposte se ne possono aggiungere altre dovute al “riscaldamento” del fieno quando imballato e immagazzinato con un contenuto di umidità superiore al 20%. E’ noto che all’analisi chimica i fieni “riscaldati” sembrano migliori in quanto più ricchi di azoto e più poveri in cellulosa grezza, ma nella realtà la digeribilità della loro sostanza organica e, in particolare, delle loro sostanze azotate è fortemente diminuita. Infatti, a causa del riscaldamento della massa, zuccheri e amminoacidi reagiscono tra loro formando un complesso indigeribile, che si manifesta con l’imbrunimento del fieno; tale reazione prende il nome di reazione di Maillard:

zuccheri + amminoacidi ⇒ composti indigeribili + imbrunimento del fieno.

Effetti della pioggia durante l’essiccazione

Le piogge provocano un susseguirsi di umettamenti ed essiccazioni che, ovviamente, ostacolano il processo di fienagione ed aumentano le perdite di valore nutritivo del fieno; quando la pioggia cade sul foraggio tagliato porta a diverse conseguenze:

- aumento delle perdite per respirazione, perché il foraggio rimane “vivo” più a lungo, soprattutto quando la pioggia cade subito dopo il taglio;
- perdite per lisciviazione di sostanza secca solubile (carboidrati non strutturali, composti azotati solubili, sali minerali), se la pioggia bagna un foraggio già “morto”;
- riduzione della digeribilità;
- sviluppo di batteri e muffe che metabolizzano sostanza secca formando prodotti indesiderati che portano ad uno scadimento qualitativo e, in qualche caso, alla perdita totale del fieno; questo avviene nel caso di piogge prolungate.

Le perdite crescono con l’intensità e la frequenza della pioggia e con l’avanzare dell’essiccamento del foraggio.

ANDANATURA E ROVESCIAMENTO DELLE ANDANE

Dal paragrafo precedente si evince che l'essiccazione è un processo abbastanza critico, da far svolgere il più velocemente possibile per evitare che le condizioni atmosferiche lo ostacolino, determinando un calo troppo pronunciato del valore nutritivo del fieno.

In genere, la macchina di raccolta lascia il fieno in "andane" (fig. 7), una disposizione che non è certo molto favorevole all'essiccamento (biomassa troppo raccolta ed ammassata). Di conseguenza, per facilitare la perdita di acqua sono necessari una serie di interventi meccanici per rendere uniforme l'apporto di radiazione e facilitare il ricambio di aria nello strato. Questi interventi vengono eseguiti con appositi strumenti, detti *ranghinatori* (fig. 8), con i quali si eseguono diverse operazioni (fig. 9):

- aprire l'andana in uno strato uniforme, subito dopo il taglio (aumento della superficie esposta);
- rivoltare lo strato quando il contenuto di acqua è sceso al 50-60%;
- restringere in andana il foraggio quasi secco per diminuire il riassorbimento notturno e/o per asciugare il terreno scoperto su cui rivoltare l'andana.

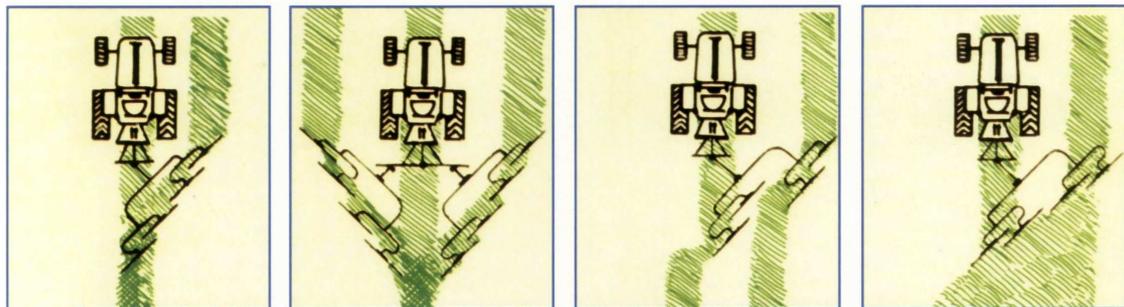
Per arieggiare foraggi soggetti a sbriciolarsi, come l'erba medica, è sconsigliato l'uso del voltafieno rotativo (*girello*, fig. 10), meglio usare macchine con *pick-up* e diversi dispositivi per l'inversione dell'andana (fig. 11).



Figura 7 - Falcia-andanatura di un prato



Figura 8 - Esempio di ranghinatore molto diffuso.



ranghina
raking
râtelier

ranghina
raking
râtelier

volta
turning
tourner

spande
spreading
epandage

Figura 9 - Schema di funzionamento del ranghinatore in Figura 8.

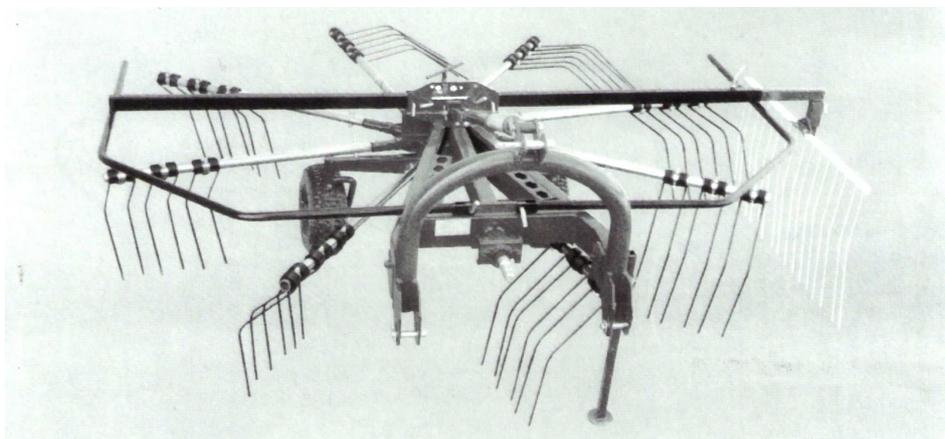


Figura 10 - Macchina voltafieno (girello).

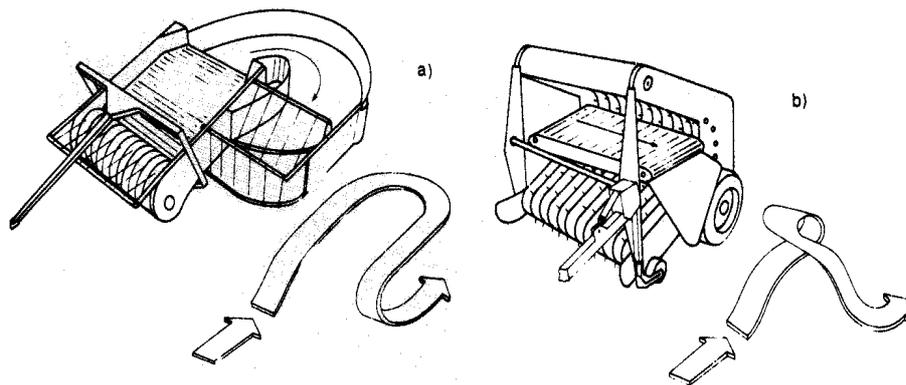


Figura 11 - Macchine invertitrici di andana: a) modello "Dion" del tipo a piattaforma rotativa; b) modello sperimentale dell'Istituto per la meccanizzazione agricola del CNR - Torino (da: Ciotti, 1992).

CONDIZIONAMENTO DELL'ERBA

Il buon esito della fienagione è sotto l'alea dell'andamento meteorologico. Per ridurre i rischi che una pioggia bagni il foraggio è opportuno abbreviare la durata dell'operazione; ciò è possibile con il condizionamento.

Questa operazione consiste in trattamenti particolari all'erba (meccanici o chimici), effettuati al momento del taglio, per migliorare il tasso di essiccamento, ridurre le perdite sia quantitative che qualitative, rendere la massa più omogenea.

Il condizionamento non esclude l'arieggiamento mediante rivoltamenti del foraggio.

Condizionamento meccanico

Questa operazione si realizza con macchine combinate (*falciacondizionatrici*) che falciano il foraggio e ne degradano meccanicamente gli steli per favorire la perdita di acqua (aumenti fino al 30%) così da far avvicinare il loro essiccamento a quello delle foglie e ottenere andane più aerate; le macchine eseguono: piegature, sfregamento, laminazione, spazzolatura.

Con tempo buono la durata dell'essiccamento si riduce di circa 36 h e si guadagnano 10-15 punti percentuali di sostanza secca, ma in caso di pioggia si hanno maggiori perdite per lisciviazione rispetto all'erba solo falciata.

E' importante che l'azione degli organi condizionatori sia misurata per evitare lo sbriciolamento delle foglie e lo spezzettamento degli steli, con conseguente afflosciamento dell'andana.

Il condizionamento è particolarmente indicato per le graminacee con stelo grosso (es.: sorgo da foraggio) e per le leguminose quando si deve ottenere erba appassita da conservare in silo o in fienile ventilato.

Si utilizzano falciacondizionatrici dotate di diversi tipi di dispositivi:

- dispositivi falcianti: a barra alternativa, rotativi a dischi o a tamburi;
- dispositivi condizionatori: a rulli, a denti, a spazzole, a flagelli;
- dispositivi andanatori: a pannelli deflettori, a schermi giraandana, a giraandana a cilindri rotativi o a tappeti.

◆ *Condizionamento per schiacciamento.* È il tipo più praticato; è indicato per foraggi di erba medica, trifogli e leguminose in genere. Consiste nel far passare il foraggio tra due rulli con superfici variamente sagomate (fig. 12) che provocano fenditure longitudinali e lesioni trasversali degli steli. Inoltre, il lancio all'indietro del foraggio schiacciato contro i "grembioli" del carter della macchina porta alla formazione di un'andana più soffice rispetto a quella ottenuta con la semplice falciatrice; tuttavia, l'azione non deve essere troppo energica per non perdere quest'ultimo vantaggio.

Per migliorare la qualità del lavoro della macchina la larghezza degli organi condizionatori dovrebbe essere pressoché uguale a quella degli organi falcianti. E' preferibile che i condizionatori a rulli siano abbinati a falciatrici a dischi.

In Italia questo condizionamento non ha incontrato molto il favore degli agricoltori, soprattutto perché, anche con il condizionamento, l'esito della fienagione rimane sotto l'alea dell'andamento climatico; pertanto, chi vuol cautelarsi da questi rischi preferisce avvalersi dell'insilamento. Il condizionamento esprime la sua piena validità quando il foraggio viene preappassito per essere insilato o essiccato in fienile ventilato.

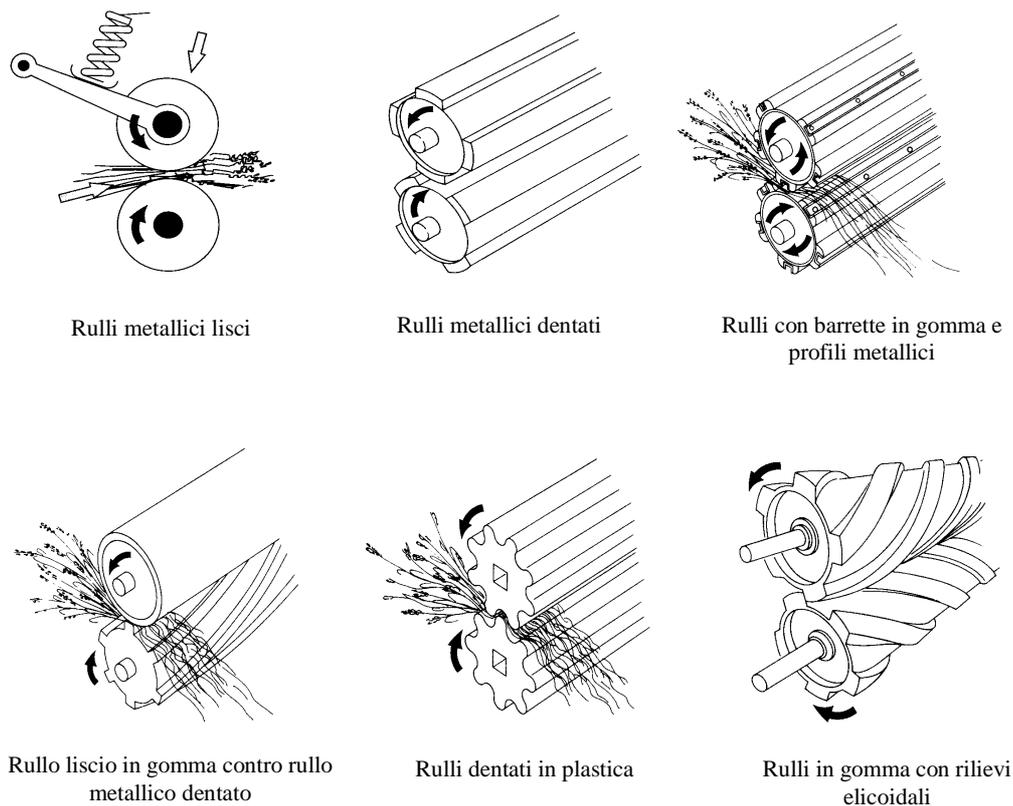


Figura 12 - Condizionatori a rulli

◆ *Condizionamento per abrasione della cuticola.* E' indicato per foraggi di prati monofiti di graminacee e di prati permanenti dove queste specie abbondano; consigliato anche per materiali destinati alla disidratazione (essiccamento più rapido).

Nel condizionamento per abrasione della cuticola il foraggio è sottoposto all'azione di flagelli in acciaio o, più recentemente, in materiale plastico, calettati o fissi su uno o due alberi rotanti (fig. 13), posti perpendicolarmente alla linea di avanzamento della macchina. Gli utensili possono avere forme diverse, come bacchette singole o riunite a mazzetti, lamine, spazzole; comunque siano la loro azione è quella di intaccare (soprattutto) la parte basale degli steli e proiettare all'indietro il foraggio contro il carter. La qualità del lavoro migliora con l'aumentare della massa di foraggio, mentre con i condizionatori a rulli avviene l'inverso. Di norma con i flagelli si ottengono andane più soffici rispetto a quelle ottenute con i condizionatori a rulli perché gli steli rimangono rigidi e cadono intricati in tutti i versi, ma, sempre rispetto ai condizionatori a rulli, si hanno maggiori perdite di foglie, soprattutto nelle leguminose.

I condizionatori a flagelli possono essere abbinati a tutti i tipi di falciatrici; diventano indispensabili con quelle a tamburo.

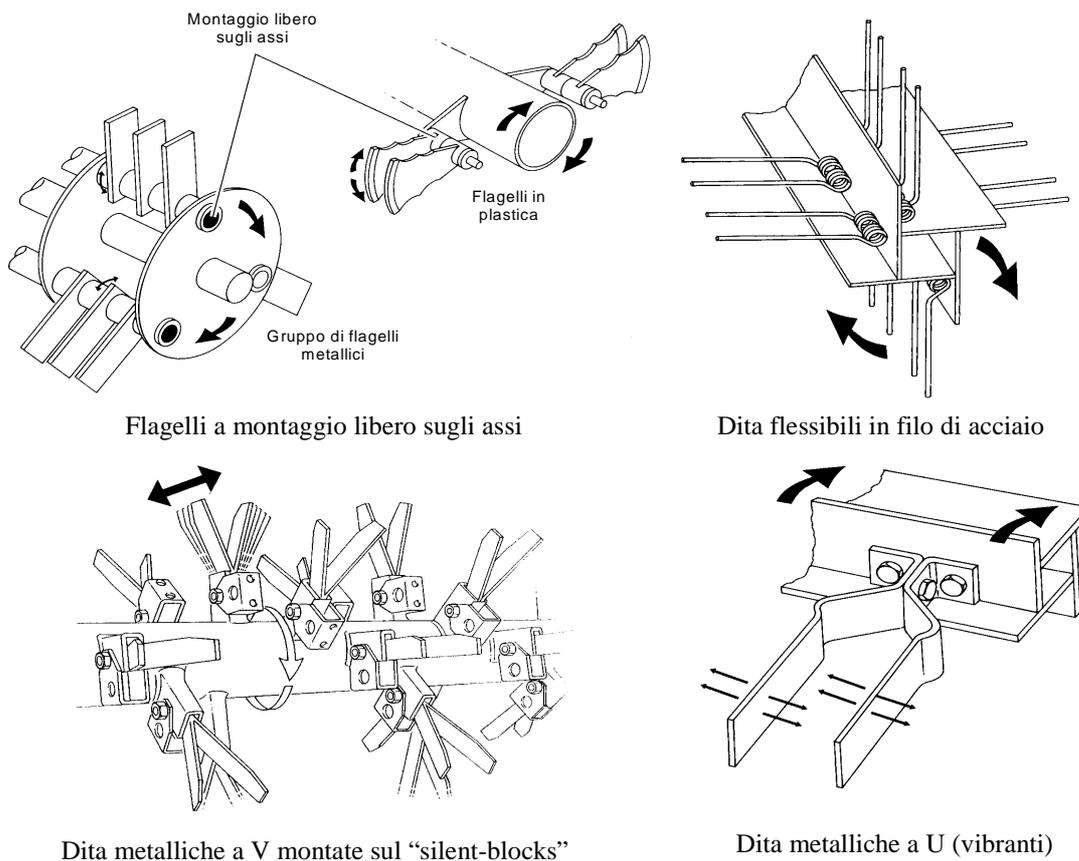


Figura 13 - Condizionatori a flagelli

Condizionamento chimico

Con il condizionamento chimico l'accelerazione dell'essiccamento è ottenuta mediante diversi prodotti chimici (acido formico, sali, principi attivi erbicidi), distribuiti in soluzione acquosa. Questo trattamento in Italia non ha avuto seguito consistente.

Buoni risultati sembra si possano avere con trattamenti a base di carbonato di potassio (K_2CO_3), specialmente quando abbinati al condizionamento meccanico per abrasione (migliora la penetrazione della soluzione all'interno dei tessuti). Con questo trattamento i tassi di essiccazione possono aumentare fino al 50%, grazie al prolungamento del periodo di apertura degli stomi e a modificazioni della cera cuticolare che consentono all'acqua di fuoriuscire sotto forma di velo liquido continuo.

Con elevate masse di foraggio e/o con tempo nuvoloso si riduce l'efficacia tecnica del prodotto, anche se l'effetto permane anche dopo una pioggia.

Sono consigliate dosi di 3,5-7 kg di f.c. in 25-30 L di acqua per tonnellata di sostanza secca.

Il prodotto è relativamente costoso; in alternativa può essere usato anche carbonato di sodio ($NaCO_3$), di costo più contenuto.

Supercondizionamento o macerazione (sistema mat)

E' una tecnica molto violenta che mediante rulli zigrinati, ruotanti a diversa velocità periferica, disgrega in frammenti fibrosi e impasta tutte le strutture della pianta, trasformandole in una "stuoia" di colore scuro e circa 10 mm di spessore, deposta a terra sulle stoppie (fig. 14). La rottura delle "barriere" consente un'essiccazione molto rapida. I succhi derivanti dalla strizzatura sono recuperati e ridistribuiti sulla stuoia durante la sua formazione.

Erba medica così trattata ha dimostrato una maggiore digeribilità delle fibre NDF e ADF, rispetto al fieno essiccato all'aria.

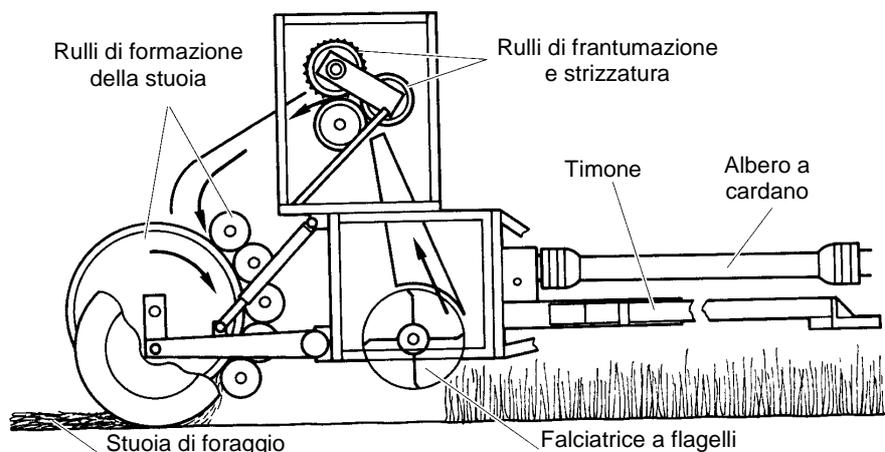


Figura 14 – Disegno schematico di una falciacondizionatrice utilizzando il sistema "Mat" (da: CEMAGREF, 1995).

ADDITIVI CHIMICI PER LA CONSERVAZIONE DEL FIENO UMIDO

A volte può rendersi necessario raccogliere il fieno quando il suo contenuto di acqua è superiore a quello “di sicurezza”; per evitare che il foraggio vada incontro a decomposizione e ammuffimenti si possono impiegare prodotti ad azione antimicrobica, incorporati nella massa.

Molti sono i prodotti utilizzabili per questo scopo, ma fino ad oggi solo due hanno importanza ai fini applicativi: l'acido propionico e l'ammoniaca.

Acido propionico

Questo acido ha, prevalentemente, azione micostatica; per la sua volatilità e per l'azione irritante si preferisce usare il suo sale NH_4 -bis-propionato che ne contiene il 65%. Di norma il prodotto è distribuito con una pompa volumetrica direttamente sull'andana, al momento dell'imballatura. Con il trattamento il fieno perde acqua con gradualità, senza andare incontro a riscaldamento per fermentazioni.

Per fieni raccolti in balle prismatiche normali, o giganti a media densità, le dosi consigliate sono di $6 \text{ kg}\cdot\text{t}^{-1}$ di fieno con il 25% di umidità, da aumentare a 12 kg quando l'umidità è intorno al 30%; nel caso, invece, di balle giganti ad alta densità e per rotoballe, la dose impiegabile è di $14-18 \text{ kg}\cdot\text{t}^{-1}$ di fieno al 25% di umidità.

Si può andare incontro a risultati insoddisfacenti quando si hanno difficoltà nel determinare l'umidità del fieno (necessaria per stabilire la dose) o quando questa non è uniforme nell'andana, oppure quando il prodotto non è distribuito con uniformità.

Ammoniaca anidra

Questo gas è dotato di una forte azione antagonista verso le muffe, meno sui batteri. Essendo allo stato gassoso l'ammoniaca ha il vantaggio, rispetto alla soluzione di acido formico, di diffondere uniformemente nella massa del foraggio dove, combinandosi con l'acqua residua nei tessuti vegetali, agisce sui legamenti lignina-polisaccaridi delle pareti cellulari rompendoli; questo porta a un miglioramento nella digeribilità di cellulosa ed emicellulosa del foraggio. Un ulteriore vantaggio deriva da un arricchimento in azoto della massa. Tutto ciò acquista particolare interesse nel caso di fieni poveri e grossolani, paglie e stocchi.

La dose usuale è di $15-20 \text{ kg}\cdot\text{t}^{-1}$ di fieno con il 25-40% di umidità.

L'ammoniaca si distribuisce in balle fasciate con film di PE, così da evitare che il gas si disperda per volatilizzazione; i contenitori saranno aperti solo una decina di giorni prima dell'utilizzazione per far disperdere il gas.

In assenza di ammoniaca si può usare urea, alla dose di $50 \text{ kg}\cdot\text{t}^{-1}$ di foraggio, distribuiti come soluzione sull'andana. Se il foraggio fosse povero di ureasi naturale (controllare) aggiungere 5-10 kg di farina di soia cruda.

Esiste un metodo, denominato Armako (messo a punto in Danimarca), con il quale più rotoballe possono essere inserite in un unico cilindro di PE. L'ammoniaca è erogata mediante un dosatore e iniettata nelle balle attraverso le punte (appositamente forate) del “forcone” per la movimentazione delle stesse.

Agenti microbici

Recenti ricerche hanno dimostrato che ceppi vivi di *Bacillus pumulus*, selezionati da fieno di erba medica, possono essere utilizzati per conservare fieni con ancora il 20-30% di umidità.

Questo prodotto offre diversi vantaggi rispetto agli acidi organici:

- non è corrosivo;
- è facilmente maneggiabile;

- riduce la perdita di foglie;
- migliora la qualità e l'appetibilità del fieno.

Per conseguire i migliori risultati dall'impiego di questi batteri è, però, necessario che:

- il tipo di fieno sia conservabile con questo metodo (accertarlo preventivamente);
- il prodotto sia stato ottenuto da microrganismi trovati in natura su fieno, piuttosto che su insilato;
- il prodotto sia applicato nelle dosi e con le modalità raccomandate dal produttore.

FIENAGIONE IN DUE TEMPI

Con questa fienagione è possibile conseguire due innegabili vantaggi, rispetto alla fienagione tradizionale “in piena aria”: ridurre la permanenza in campo del foraggio, così da diminuire i rischi legati all’andamento stagionale, e ridurre le perdite di fienagione (tab. 3).

Tabella 3 – Confronto tra fienagione tradizionale e fienagione in due tempi per le perdite di alcune componenti del fieno.

Componenti	Perdite di fienagione (%)	
	Fienagione in 2 tempi	Fienagione tradizionale
Sostanza secca	10-15	25-35
Protidi	15-25	40-45
U.F.	25-35	45-65

In Italia questo sistema di fienagione è diffuso prevalentemente nella zona del “Parmigiano-Reggiano”, dove la base dell’alimentazione del bestiame da latte è costituita dal fieno (non essendo consentito l’uso dell’insilato per evitare inconvenienti a quel tipo di formaggio), e in Trentino Alto Adige, dove, spesso, le condizioni climatiche rendono difficoltosa la fienagione tradizionale; la massima diffusione si riscontra nel Centro-Nord d’Europa.

L’erba tagliata è lasciata appassire in campo fino a che il suo contenuto in acqua è sceso intorno al 40%, poi è trasportata in fienili a ventilazione forzata dove completa l’essiccazione.

Il foraggio ancora umido è poggiato su un grigliato metallico o in legno, se sfuso, o su una piattaforma in cemento armato, se in rotoballe o in grosse balle, e fatto attraversare da aria riscaldata spinta da un ventilatore (solitamente centrifugo).

Il sistema ha sempre limitata capacità di lavoro, pertanto si impongono un anticipo nell’inizio della raccolta dell’erba e una prosecuzione scalare della raccolta, per dar tempo all’impianto di essiccare tutto il foraggio raccolto. La capacità di essiccamento dipende dalla portata del ventilatore e dalle condizioni dell’aria (temperatura e umidità relativa). Di norma, per ridurre il costo iniziale, l’impianto è sotto dimensionato rispetto alla produzione di foraggio del primo taglio.

Essenzialmente si hanno due tipi d’impianti: ventilazione (ascensionale) su fieno sfuso e ventilazione su fieno confezionato in balle.

Ventilazione su fieno sfuso

In questo metodo la base del fienile ha forma rettangolare ed è costituita da un piano in grigliato metallico o in legno (figg. 16-B e 16-C) che lasciano una superficie libera superiore al 60%; l’interno del fienile è suddiviso in celle, dove il foraggio è immesso con un elevatore pneumatico (fig. 16 A). La raccolta del foraggio preappassito (sfuso) dal campo e il suo trasporto sono effettuati con carri autocaricanti mentre il riempimento del fienile avviene a strati successivi, immessi quando quelli precedenti hanno perso gran parte dell’umidità (fig. 15). Il fieno rimane, in genere, dove è stato essiccato. La quantità di materiale stivabile dipende dalla sua densità (varia con il tipo di erba) e dall’altezza del cumulo (fig. 17).

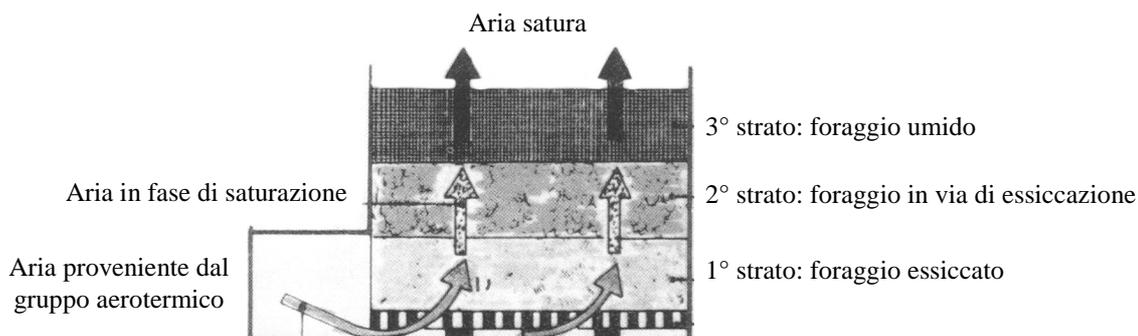


Figura 15 - Essiccamento degli strati successivi di foraggio (da: R. Chiumenti, CRPA; 1989).

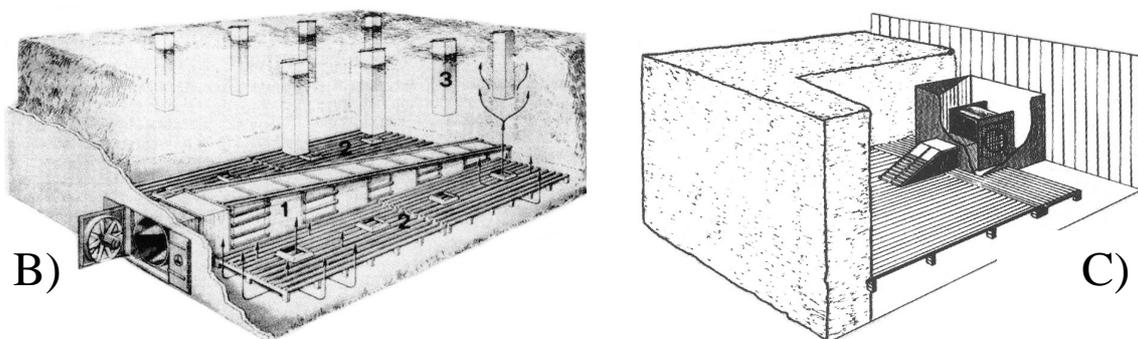
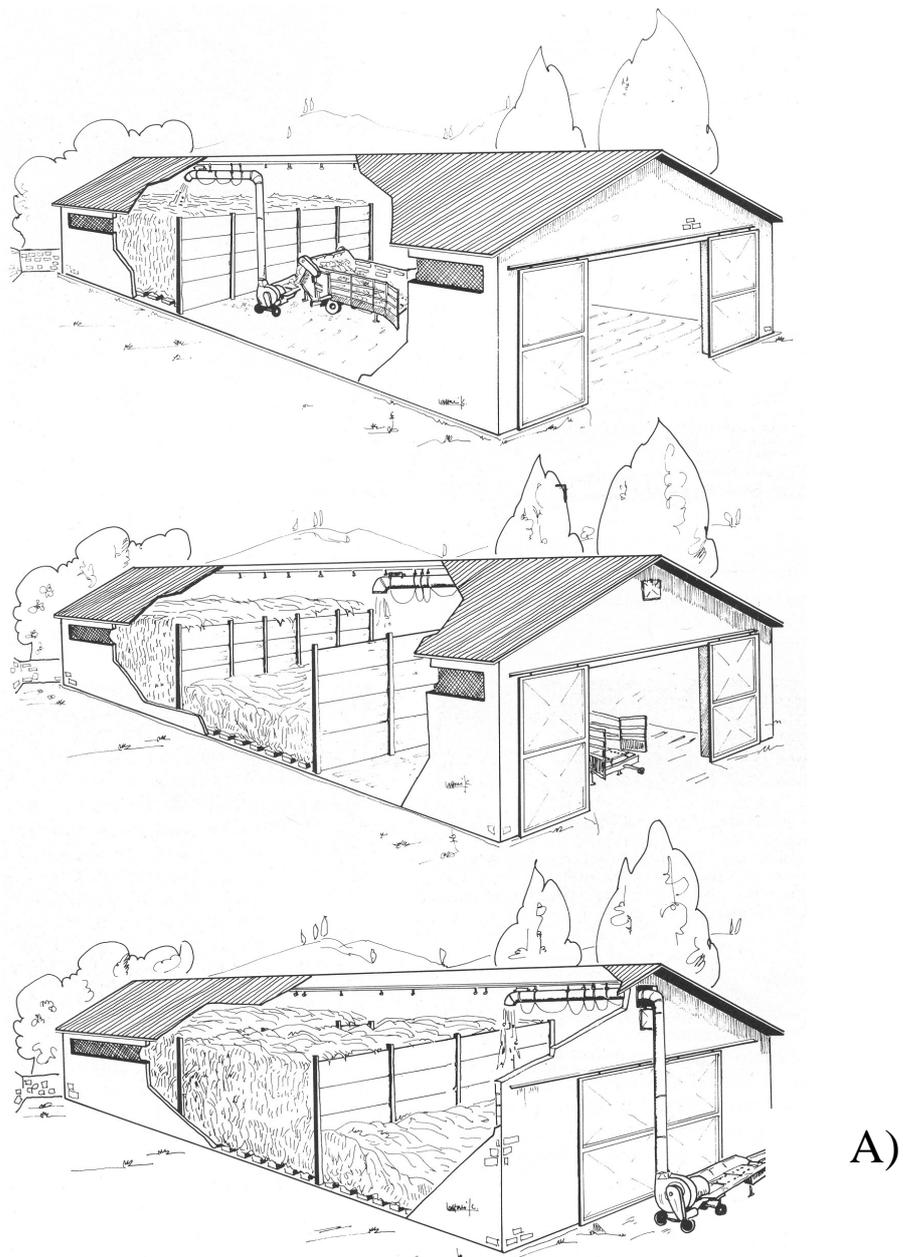


Figura 16 – Schema di impianto per la ventilazione forzata ascensionale di fieno umido sfuso: A) fienile in fasi successive di caricamento; B) platea di essiccazione tipo “Aulendorf” (1: tunnel centrale; 2: graticci laterali; 3: tappi a trazione); C) platea di essiccazione tipo “Hohenheim” (da: R. Chiumenti, CRPA; 1989).

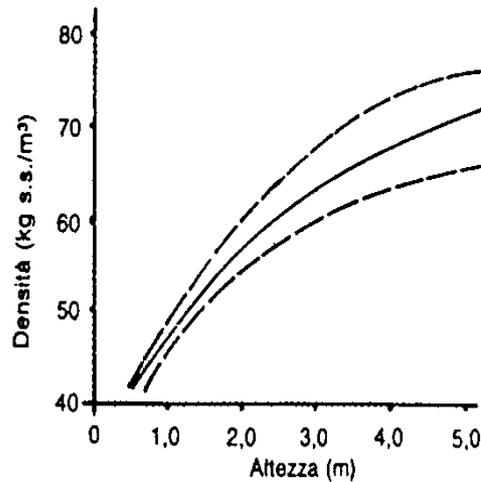


Figura 17 - Densità del fieno in relazione all'altezza del cumulo (da: ICTF,1970).

Più il fieno è denso, maggiore è la resistenza che esso oppone al passaggio dell'aria; per un buon funzionamento dell'impianto è importante un giusto dimensionamento delle canalizzazioni.

La portata specifica di ventilazione dovrebbe essere di $0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$. L'essiccazione sarebbe possibile anche con fieno al 60% di umidità, ma il trattamento risulterebbe molto costoso; il giusto rapporto costi/benefici è al 40% di umidità dell'erba appassita.

Ventilazione del fieno in balle cilindriche

La base del fienile è costituita da una platea in cemento (*camera plenum*), percorribile dalla trattrice, sulla quale sono ricavati dei grossi fori ($\varnothing 0,9-1,2 \text{ m}$); sopra ciascuno foro sono impilate le rotoballe (fig. 18) fino a un massimo di tre.



Figura 18 – Platea per la ventilazione di fieno in balle cilindriche (da Ciotti, 1992).

Alla sommità della pila è posto un disco (in cemento o in lamiera) per impedire la fuoriuscita dell'aria dall'alto, così da costringerla ad attraversare le rotoballe prima in senso ascensionale e poi radiale. Per una buona circolazione dell'aria attraverso il foraggio sono da preferire le balle a centro morbido, rispetto a quelle a centro duro e con densità inferiore rispetto al fieno essiccato all'aria: $130-150 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ anziché $150-180$, con i valori più bassi per i fieni di prati polifiti e quelli più alti per

fieni di primo e secondo taglio di erba medica.

Il sistema è discontinuo, nel senso che dopo 24-36 ore (con foraggio imballato al 30-35% di umidità) le rotoballe ormai essiccate sono trasferite altrove per lo stoccaggio, così da poter utilizzare la platea per essiccarne altre.

Il rendimento dell'impianto è piuttosto basso e per la sua gestione è richiesta molta manodopera, ma l'investimento iniziale è relativamente contenuto.

Ventilazione del fieno in balle prismatiche

Recentemente sono stati realizzati impianti per la ventilazione artificiale anche di balle prismatiche di grandi dimensioni (tipo *big baler*). L'impianto presenta caratteristiche strutturali e funzionali pressoché simili a quelle degli impianti per le balle cilindriche, salvo per la forma dei fori (fig. 19) e per piccole differenze nella camera di equalizzazione.

I fori, di forma rettangolare, sono dotati di un dispositivo che consente di variarne la lunghezza a seconda delle dimensioni della balla; non è indispensabile il coperchio sopra la balla. La pressione di esercizio nella camera di equalizzazione è compresa fra 130 e 150 mm (di colonna d'acqua).

Come per le rotoballe il sistema è discontinuo e il tempo di essiccazione varia intorno alle 24 ore. Anche per le balle prismatiche destinate alla ventilazione la densità deve essere ridotta: dai 220-240 kg·m⁻³ del fieno già essiccato all'aria a circa 170.

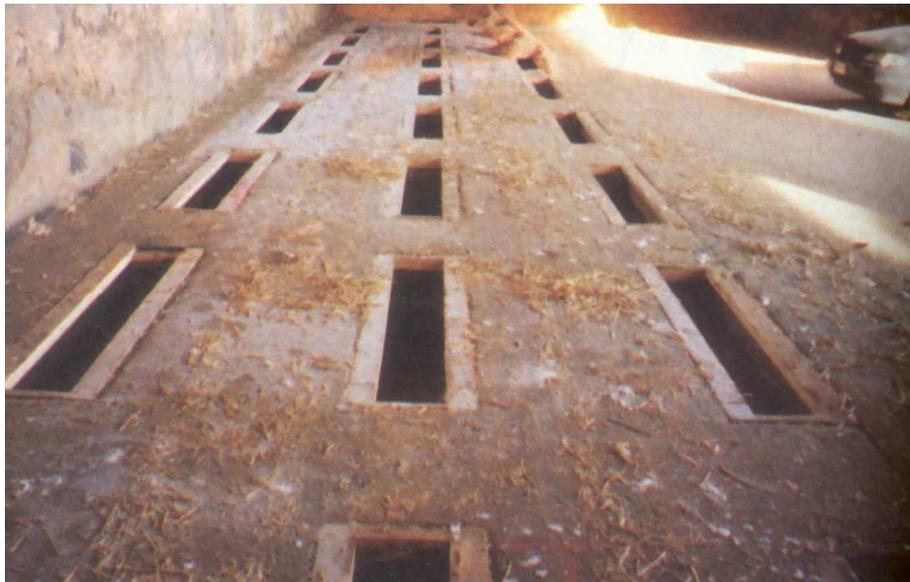


Figura 19 – Platea per la ventilazione di fieno in balle prismatiche (da: Benvenuti, 1999).

RACCOLTA E IMBALLATURA DEL FIENO

La raccolta-imballatura consiste nel riprendere direttamente dal terreno il fieno (o erba più o meno appassita) riunito in andana e confezionarlo in *balle*; è possibile imballare foraggi con diversi contenuti di acqua:

- foraggio secco (15-16% di acqua), conservabile tal quale;
- foraggio appassito (35-40% di acqua), conservabile in fienili a ventilazione forzata o in sili;
- foraggio semiappassito, conservabile in sili a tenuta d'aria.

CARATTERISTICHE DELLE BALLE

L'imballatura del fieno offre diversi vantaggi, rispetto al fieno sfuso: si riduce l'ingombro; si può meccanizzare la movimentazione; si facilita lo stoccaggio e la distribuzione al bestiame.

Le balle possono essere diverse per densità (meglio sarebbe dire *massa volumica*), forma e volume, a seconda del tipo di macchina imballatrice utilizzato e dell'organizzazione del lavoro scelta.

Densità di pressatura (massa volumica)

Nel parlare comune la densità del fieno indica il grado di compressione del foraggio nelle balle; si esprime in $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Si conoscono due densità: densità apparente e densità reale.

◆ *Densità apparente (d)*. Corrisponde al quoziente tra il peso e il volume di una balla:

$$d = \frac{P(\text{kg})}{V(\text{m}^3)}$$

La densità apparente può variare per diversi fattori:

- comprimibilità del foraggio: caratteristica fisica di difficile apprezzamento, dipendente dalla percentuale di sostanza secca e dalla struttura dei vegetali (elasticità; resistenza a piegatura, schiacciamento e sfregamento; tasso di elementi fibrosi; ecc.);
- tasso di sostanza secca: legato al grado di essiccamento del foraggio.

◆ *Densità reale o densità della sostanza secca*. Esprime la quantità (in peso) di sostanza secca contenuta in un m^3 di balla; varia con la natura del materiale raccolto e il tipo di macchina utilizzata. Si esprime in kg di sostanza secca per m^3 .

$$d \text{ s.s.} = d \cdot \text{s.s.}\%$$

La densità reale consente di apprezzare meglio il numero di razioni contenute nelle differenti balle; ciò risulta molto utile in caso di compravendita del fieno.

Con le macchine oggi disponibili si possono avere balle di densità: bassa, media, alta e altissima; nella tabella 4 sono riportati i valori di densità di fieni raccolti in diverso modo.

Nelle balle con densità inferiore a $140 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, la porosità interna consente di perdere ancora qualche punto di umidità dopo la pressatura, solo lasciandole per qualche tempo sul campo; questo è valido, soprattutto, per le piccole balle parallelepipediche e per quelle cilindriche a media densità. L'ulteriore periodo di arieggiamento riduce i rischi di riscaldamento della massa.

Nelle balle con densità elevate è impossibile un'ulteriore perdita di acqua dal fieno, pertanto si deve raccogliere e pressare solo quando il foraggio ha raggiunto una umidità inferiore al 15 %; in

questo modo si evitano rischi di ammuffimento e surriscaldamento che, in certe condizioni, possono portare all'incendio delle balle entro il fienile.

Tabella 4 - Densità di foraggi diversamente raccolti (da: CEMAGREF, 1995; mod.)

Modalità di raccolta	Densità apparente (kg·m ⁻³)	Densità reale (kg di s.s.·m ⁻³)	Volume teorico di stoccaggio (m ³ ·ha ⁻¹) (*)
Fieno secco sfuso non compresso	40-50	32-40	125-100
Fieno secco sfuso compresso	60-80	48-64	83-63
Balle di fieno a media densità	130-150	104-120	38-33
Balle cilindriche di fieno	140-180	112-144	39-30
Balle cilindriche di foraggio da insilare al 55% di s.s.	280-345	154-190	28-33
Balle cilindriche di foraggio da insilare al 40% di s.s.	340-375	136-150	32-29
Grosse balle parallelepipedo di fieno	200-260	160-208	25-20

(*) per una produzione di 4 t·ha⁻¹ di sostanza secca.

La maggiore densità del foraggio destinato all'insilamento è dovuta al maggior contenuto di acqua che ne migliora la comprimibilità

N.B.: Si rammenti che a pari dimensioni, uguale tasso di sostanza secca e pressione comparabile, una balla di fieno secco pesa 1,5 volte (circa) più di una balla di paglia.

Nella figura 20 sono riportati gli intervalli di densità ottenibili impiegando diversi tipi di macchine per la raccolta e l'imballatura del fieno.

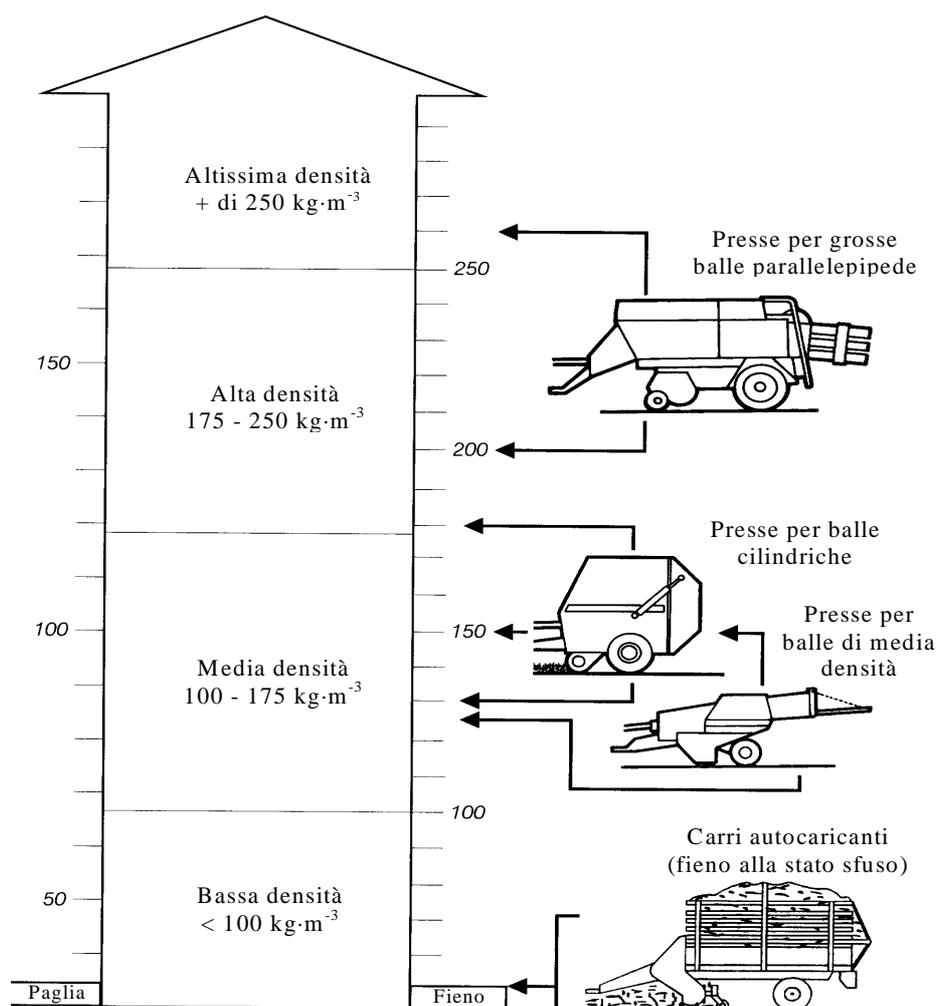


Figura 20 - Differenti livelli di densità e materiali corrispondenti (da: CEMAGREF, 1995).

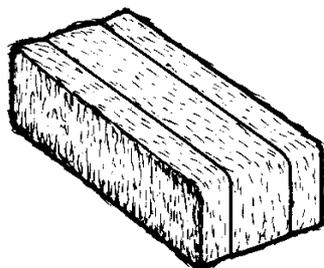
Forma delle balle

Forma e densità delle balle dipendono dall'itinerario di utilizzazione e dalle macchine raccogliemballatrici disponibili.

◆ *Piccole balle parallelepipedo* o *balle a media densità* (fig. 21). E' stato il primo tipo di balle ad essere utilizzato. Per il loro basso peso queste balle sono movimentabili a mano, ma presentano una serie di inconvenienti:

- rendono impossibile l'integrale meccanizzazione della catena di "raccolta-movimentazione-stoccaggio-distribuzione";
- la "portata" del cantiere è relativamente bassa;
- presentano un alto indice di esposizione (I_e), pertanto non debbono essere lasciate per lungo tempo sul campo, ma poste al coperto appena raggiunto il giusto grado di umidità:

$$I_e = \frac{\text{superficie laterale (m}^2\text{)}}{\text{volume (m}^3\text{)}}$$



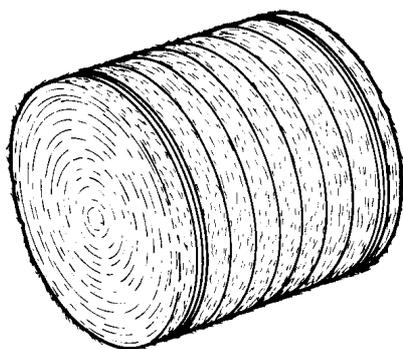
Caratteristiche:

peso: 15-35 kg
volume: 0,1-0,2 m³
densità: 130-150 kg·m⁻³ di fieno

Figura 21 – Piccola palla parallelepipedo.

◆ *Grandi balle cilindriche* o *rotoballe* (fig. 22). Questo tipo di balle è entrato nell'uso generalizzato intorno al 1975; oggi è il più diffuso, grazie a una serie di vantaggi rispetto al tipo precedente:

- sono relativamente facili da realizzare;
- raggiungono un peso e un volume che le rendono facilmente sollevabili con i caricatori delle trattrici (fig. 23);
- sono molto adatte alla distribuzione meccanizzata del foraggio;
- il cantiere di raccolta è di notevole "portata" ed è gestibile con poca manodopera (anche una sola persona);
- hanno un ridotto indice di esposizione (circa 5), inoltre la parte superiore ha la funzione di "tetto di paglia".



Caratteristiche:

larghezza: 0,9 - 1,5 m
diametro: 1,2 - 1,5 m
volume: 1,4 - 2,1 m³
densità: 130 - 180 kg·m⁻³ di fieno
1 rotoballa = 15 - 20 balle parallelepipedo

Figura 22 – Grande palla cilindrica.

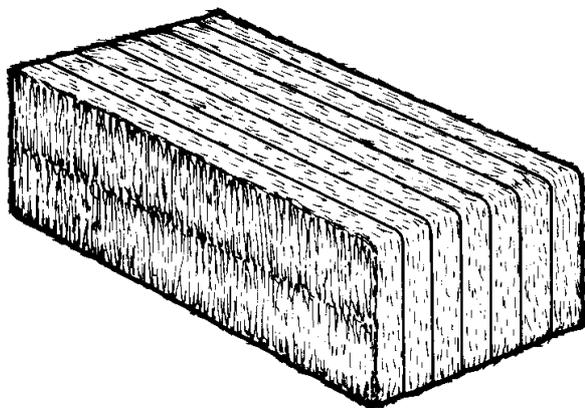


Figura 23 - Movimentazione meccanizzata delle rotoballe.

◆ *Grandi balle parallelepipedo o big bales* (fig. 24). Le macchine per queste balle hanno avuto una diffusione più recente (1986-87), ma le prime presse fisse a funzionamento discontinuo (legate manualmente con filo di ferro) erano state utilizzate in Francia, già dal 1920, nelle stazioni ferroviarie per pressare paglie o fieni prima della spedizione. Spesso questo tipo di presse accompagnava le trebbiatrici a posta fissa.

Le grandi balle presentano queste peculiarità:

- sono particolarmente adatte alle filiere di commercializzazione (che implicano trasporto), poiché, a parità di volume con gli altri tipi di balle, contengono una maggiore quantità di fieno per la maggiore densità;
- la “portata” del cantiere di raccolta è molto elevata (fino a 5-6 t di sostanza secca per ora);
- la forma parallelepipedica consente economie nello stoccaggio perché si può occupare tutto lo spazio disponibile, mentre con le balle cilindriche ne rimane inutilizzato intorno al 20%;
- presentano un alto indice di esposizione, pertanto dopo la pressatura debbono essere prelevate dal campo con sollecitudine e subito poste al coperto.



Caratteristiche:

peso: 1 t
 volume: 2 - 4 m³
 densità: 220 - 260 kg·m⁻³

Figura 24 – Grande balla parallelepipedica.



Figura 25 - Confezionamento delle balle parallelepipedo a partire dal fieno in andane.

PERDITE DOPO L'IMBALLATURA

La fienagione comporta perdite sia sotto l'aspetto quantitativo che qualitativo. Tali perdite possono essere causate:

- dalle condizioni ambientali, soprattutto le piogge che accentuano la respirazione e la lisciviazione;
- dai trattamenti meccanici che portano a sbriciolamento del foraggio (soprattutto foglie);
- dalle condizioni di raccolta e stivaggio (ammuffimenti, deterioramento da calore).

Poiché nei processi di degradazione sono maggiormente interessati i contenuti cellulari (più digeribili rispetto alle pareti) e le foglie, il valore nutritivo del prodotto finale è minore rispetto a quello del foraggio iniziale e la perdita quantitativa di energia nutritiva è superiore a quella di sostanza secca.

Il fieno si stabilizza naturalmente a umidità (finali) comprese tra il 12%, nel caso di erba giovane e fogliosa, e il 17%, con erba grossolana ricca di fibra.

Se il fieno deve essere raccolto in balle prismatiche tradizionali, le operazioni iniziano quando è ancora presente il 20-25% di acqua, al fine di ridurre le perdite per sbriciolamento. L'eccesso di acqua è smaltito in alcuni giorni, prima sul campo e poi nel fienile (a ventilazione naturale), grazie a un lieve riscaldamento della massa (fino a 35-45 °C) dovuto ad attività respiratorie, anche da parte dei microrganismi. Ciò porta a perdite valutate tra il 2 e il 7%, a seconda dell'umidità del fieno, della sua composizione botanica e delle condizioni di conservazione.

Raccogliendo fieno più umido (umidità superiore al 20-25%) si può andare incontro a diversi inconvenienti che si verificano sequenzialmente durante il più prolungato smaltimento dell'acqua.

- a) Sviluppo di muffe filamentose e altri microrganismi che rendono il fieno inutilizzabile, poiché determinano affezioni polmonari nell'uomo e negli animali; inoltre, in questi ultimi, possono causare anche l'aborto micotico.
- b) Sviluppo di batteri termofili (*Aspergillus* spp. e *Bacillus* spp.) che portano a innalzamenti di temperatura (fino a 60 °C e oltre) che bloccano l'attività delle muffe, ma causano nel fieno una riduzione della digeribilità e l'acquisizione di un colore rosso mattone o brunastro.
- c) Se il calore generato non si disperde, la temperatura può superare gli 80 °C per processi di sola natura chimica che portano alla formazione di gas autossidabili, quali idrogeno e idrocarburi, fissati alla microporosità del materiale in via di carbonizzazione. Per improvvisi assestamenti della massa questi gas possono confluire in quantità critiche che, a contatto dell'ossigeno dell'aria, formano una miscela immediatamente infiammabile capace di innescare l'autocombustione del fieno.

Le rotoballe asciugano meno e più lentamente di quelle prismatiche rendendo più gravi gli inconvenienti sopra visti (fatta eccezione per l'autocombustione); per questo motivo devono essere confezionate con fieno più asciutto. Se troppo umide le rotoballe a "centro morbido" tendono a muffire (maggior presenza di aria al loro interno), mentre quelle a "centro duro" tendono a subire l'imbrunimento. E' importante immagazzinare le rotoballe sempre al coperto e impilarle su pallets per una migliore circolazione dell'aria.

La valutazione delle perdite può essere utile nella scelta del metodo di conservazione del foraggio e per effettuare calcoli economici; nella tabella 5 sono riportate stime sull'entità delle perdite (in % di s.s.) ordinate secondo un criterio-guida suggerito da Cabon e Dulphy (1987).

Tabella 5 - Modello di calcolo delle perdite di fienagione (da: Ciotti,1992).

a) Perdite in campo			
<i>Tempo favorevole</i> (perdite meccaniche + respirazione) (1)			
Essiccamento		Graminacee	Leguminose
		(%)	(%)
fino al 40% di s.s		3-7	6-10
dal 41 al 60 % di s.s		2-6	6-10
dal 61 all'80% di s.s		<u>2-10</u>	<u>10-14</u>
Totale		7-23	22-34
 <i>Tempo sfavorevole</i> (2)			
fino al 40% di s.s.		+1-3% per giorno di pioggia	
dal 41 al 60% di s.s.		+2-3%	“ “ “ “
dal 61 all'80% di s.s.		+3-5%	“ “ “ “
 b) Perdite dopo la raccolta (secondo la percentuale di s.s. all'accumulo) (3)			
Senza ventilazione forzata e fieno imballato		Con ventilazione forzata e fieno sfuso	
85% di s.s.	3%		
80% di s.s.	5%	50% di s.s.	5%
75% di s.s.	8%	40% di s.s.	3%
70% di s.s.	11%	30% di s.s.	1-2%

- (1) Le variazioni dipendono dalla durata dell'essiccamento e, soprattutto per le leguminose, dal numero e dalla modalità dei trattamenti; i valori minimi riguardanti le graminacee sono relativi a prati monofiti di specie molto resistenti ai trattamenti meccanici.
- (2) In aggiunta alle perdite meccaniche+respirazione. Le variazioni sono dovute, oltre che alla specie, all'intensità e al numero di giorni di pioggia.
- (3) Le stime degli ultimi due casi del fieno imballato sono riferiti a sistemi di stoccaggio ben aerati, altrimenti si può giungere fino alla distruzione totale del prodotto.

A titolo di esempio: per un prato polifita con prevalenza di graminacee, falciato al 20% di s.s. e raccolto all'80% di s.s. in buone condizioni meteorologiche, si possono stimare perdite totali di $5+5+7+5= 22\%$.

INSILAMENTO DEI FORAGGI

Questa tecnica di conservazione dei foraggi, conosciuta già dagli Egizi e, successivamente, dai Cartaginesi e dai Romani, ha trovato larga diffusione solo nella seconda metà del secolo XIX con l'affermarsi della coltura del mais. Da pochi decenni la conservazione mediante insilamento si è estesa anche ai foraggi prativi, grazie a miglioramenti tecnologici quali la realizzazione di apposite trinciatrici, uso di fogli di PE per la chiusura dei sili, distributori di additivi, catene di meccanizzazione di raccolta e desilamento.

Oggi l'intensificazione zootecnica non può prescindere dall'insilamento, pratica definibile come: *la conservazione di foraggio fresco, o appassito, o allo stato ceroso, attraverso un processo fermentativo anaerobico capace di preservare le qualità nutritive del materiale di partenza.*

I motivi per cui si ricorre all'insilamento sono molteplici:

- conservare alcuni foraggi non affienabili: si pensi al mais;
- affrancarsi da condizioni atmosferiche avverse; questo è valido soprattutto alle alte latitudini: è certamente più facile avere 1-2 giorni di tempo buono, sufficienti per l'insilamento, piuttosto che 4-5 necessari per la fienagione;
- conseguire una intensificazione nella produzione di foraggi, ad esempio ampliando la scelta delle colture inseribili nell'ordinamento colturale: in alcune zone l'affienamento della loiessa è così difficoltoso da sconsigliare l'uso di questa importante foraggera, adottando l'insilamento le difficoltà sono ridotte a ben poca cosa;
- contenere le perdite di foraggio (tab. 6) rispetto alla fienagione tradizionale (-15÷30%); questo è importante per i foraggi di specie che perdono con facilità le foglie (es.: e. medica);

Tabella 6 - Perdite medie (%) con differenti tecniche di conservazione
(Da: Vanbelle *et al.*, 1992)

Modo di conservazione	Perdite medie in %		
	Sostanza secca	Proteine digeribili	Unità foraggiere
<i>Essiccazione del fieno:</i>			
a terra			
con bel tempo	20-25	25-30	30-45
con pioggia	25-35	40-45	45-65
su cavalletti	15	25	35
in fienile ventilato	10-15	15-25	25-30
<i>Disidratazione artificiale</i>			
erba di prato polifita	4	9	13
erba medica	5	15	16
<i>Insilamento:</i>			
riuscita ottima	5-10	5-15	10-15
riuscita buona	10-15	15-20	20-25
riuscita cattiva	25-30	30-50	30-50

- contenere le perdite di valore nutritivo del foraggio (tab. 6); per comprendere appieno l'importanza del contenimento delle perdite si tenga presente che queste interessano soprattutto i contenuti delle cellule, facilmente digeribili, piuttosto che le pareti delle stesse costituite in prevalenza da cellulosa. Inoltre, con l'insilamento non si è fortemente condizionati dall'andamento meteorologico, pertanto la raccolta può essere effettuata al momento giusto, intendendo con questo anche lo stadio della coltura in cui è più alto il valore nutritivo;
- facilitare la meccanizzazione integrale della raccolta e della distribuzione dei foraggi.

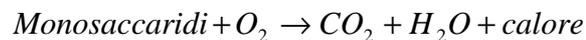
PRINCIPI BIOCHIMICI DELL'INSILAMENTO

La conservazione del foraggio mediante insilamento è basata su una serie di modificazione chimiche del materiale vegetale, operate da microrganismi secondo uno schema piuttosto lungo ed articolato in più fasi. Trascurando per adesso tutte le possibili varianti, si può dire, in sintesi, che la massa foraggera, dopo essere stata raccolta e trinciata più o meno finemente (si rimanda ad un paragrafo successivo, per la descrizione di questi aspetti tipicamente agronomici), viene posta in opportuni “contenitori”, all'interno dei quali essa va incontro alle trasformazioni descritte qui di seguito.

1^a fase: trasformazioni enzimatiche iniziali

Da quando l'erba è immessa nel silo e per tutto il periodo in cui è ancora presente l'ossigeno, gli enzimi preposti alla demolizione degli idrati di carbonio (prevalentemente) e dei protidi rimangono attivi nelle cellule ancora vive.

L'ossidazione dei monosaccaridi porta alla formazione di acqua, anidride carbonica ed emissione di calore:



Questa demolizione dei monosaccaridi comporta una riduzione del substrato necessario ai batteri lattici per la produzione di acido lattico, mentre il calore prodotto potrebbe innalzare la temperatura della massa oltre i 30 °C con aggravio delle perdite. Un certo reintegro di zuccheri fermentescibili può aversi dalla graduale idrolisi dei polisaccaridi, comprese le emicellulose.

La *proteolisi enzimatica* porta alla demolizione delle proteine in peptidi e amminoacidi liberi (utilizzati in parte dai batteri lattici per la loro moltiplicazione), ma anche oltre, fino ad azoto solubile che dal normale contenuto del 20-30% nell'erba fresca può arrivare al 40-80% nell'insilato.

La proteolisi avviene nei primissimi giorni dell'insilamento ed è accelerata dalla carenza di ossigeno e dall'innalzamento della temperatura, mentre è ritardata dall'acidificazione, arrestandosi intorno a pH 4. Nel caso l'erba sia lasciata appassire in campo la demolizione delle proteine diminuisce con l'appassimento e si arresta quando la sostanza secca è salita al 45%, circa.

I processi di ossidazione dei polisaccaridi e idrolisi delle proteine portano a perdite di sostanza secca e valore alimentare del foraggio, pertanto debbono essere ridotti al minimo creando, quanto più possibile, condizioni di anaerobiosi mediante il riempimento rapido del silo, la compressione del foraggio e la chiusura immediata del contenitore.

2^a fase: azione dei microrganismi

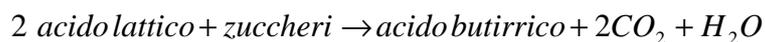
Sul foraggio è sempre presente una flora epifita che nel silo prolifera utilizzando le sostanze nutritive fuoriuscite dai vasi, dai tessuti lacerati e dalle cellule morte per anossia.

Inizialmente, per la presenza di aria all'interno della massa di foraggio, si sviluppano i microrganismi aerobi (gruppi di batteri, lieviti e funghi) che presto si inattivano per mancanza di ossigeno. A questi subentrano i batteri anaerobi facoltativi, come i coliformi e gli enterobatteri, che trasformano gli zuccheri in acido formico, etanolo, acido acetico, anidride carbonica e, talvolta, acido butirrico; con la loro attività contribuiscono all'acidificazione dell'insilato, ma si inattivano con temperature sopra i 50 °C e quando il pH si avvicina a 4,5 (resistono più a lungo negli insilati preappassiti). Alcuni microrganismi di questo gruppo possono attaccare gli amminoacidi, liberando ammoniaca e ammine tossiche.

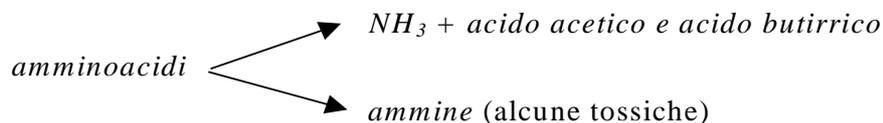
Le condizioni di anaerobiosi e di acidità, ormai presenti nel silo, portano ad una rapida proliferazione dei batteri lattici, microrganismi anaerobi (alcuni sono anaerobi facoltativi) che necessitano di poca energia. Utilizzando come substrato i monosaccaridi, i batteri lattici formano acido lattico, il vero agente della conservazione dell'insilato; la presenza di questo acido porta il pH della massa a valori anche inferiori a 4 bloccando, così, le possibilità di sviluppo di altri microrganismi.

A seconda dei composti che producono i batteri lattici si classificano in due gruppi: omolattici, o omofermentanti, ed eterolattici, o eterofermentanti. Al primo gruppo appartengono *Lactobacillus plantarum*, *Streptococcus* spp., *Pedococcus* spp.; questi, in condizioni di spinta anaerobiosi, producono due molecole di acido lattico per ogni molecola di glucosio o di fruttosio. Al secondo gruppo appartengono *Lactobacillus buchneri*, *L. brevis*, *Leuconostoc* spp. che portano, invece, alla formazione di una sola molecola di acido lattico e altri composti come alcoli, acido acetico e anidride carbonica, partendo sempre da una molecola di monosaccaride. Quindi, ai fini della produzione di acido lattico, le forme omolattiche hanno un'efficienza doppia rispetto alle eterolattiche; tuttavia, in presenza di aria anche le prime danno una produzione dimezzata di lattato. Tutti i fermenti lattici hanno una, seppur blanda, azione deaminatrice, pertanto anche ottimi insilati contengono quantità limitate di ammoniacca.

Fermentazioni secondarie. In condizioni di acidificazione lenta, o insufficiente, per eccessiva acquosità del foraggio e/o per scarsa presenza di substrato fermentescibile, si sviluppano i *clostridi saccarolitici*; si tratta di batteri anaerobi obbligati che deteriorano l'insilato. Arrivano nel silo sotto forma di spore presenti in grumi di terra contenenti sostanza organica proveniente dalla stalla; di norma si sviluppano tardivamente perché le loro spore impiegano del tempo per germinare e per farlo necessitano, come detto, di condizioni di anaerobiosi che nel silo si instaurano solo qualche tempo dopo la chiusura dello stesso: è per questo motivo che le loro attività sono indicate come fermentazioni secondarie. I clostridi saccarolitici utilizzano come substrato di crescita eventuali zuccheri rimasti e l'acido lattico già presente, producendo acido butirrico e anidride carbonica con conseguente innalzamento del pH dell'insilato:



L'innalzamento del pH crea le condizioni adatte per lo sviluppo di altri clostridi, i *clostridi proteolitici*, che attaccano gli amminoacidi causando uno scadimento dell'insilato per diminuzione del suo valore azotato e per riduzione dell'appetibilità:



Una seconda conseguenza della presenza dei clostridi nell'insilato è la possibilità che questo diventi una via di trasmissione dei microrganismi verso il latte, con gravi conseguenze sulla maturazione dei formaggi a lunga conservazione.

N.B.: riducendo il contenuto di acqua e/o aumentando la pressione osmotica si ostacola lo sviluppo dei clostridi.

3^a fase: Fermentazioni all'apertura del silo (Post-fermentazioni)

All'apertura del silo il materiale, anche se ben fermentato, subisce un'ulteriore fermentazione con riscaldamento più o meno rapido della massa, secondo la temperatura della parete di insilato esposta all'aria. Con queste condizioni si ha un veloce sviluppo di lieviti e muffe che può essere controllato attraverso un desilamento regolare (1-2 volte al giorno).

Queste le principali trasformazioni:

- i lieviti anaerobi trasformano in alcol gli eventuali zuccheri residui;
- i lieviti aerobi metabolizzano la sostanza organica con emissione di calore;
- le muffe (aerobie) trasformano gli zuccheri e gli acidi organici in un residuo non utilizzabile.

N.B.: la presenza di muffe all'apertura del silo è la manifestazione di una difettosa tenuta all'aria del contenitore.

FATTORI ‘CHIAVE’ PER UN BUON INSILAMENTO

I molti metodi di insilamento e le loro varianti permettono di conservare qualsiasi foraggio: dal mais alla loiessa, dall'erba di prato naturale al girasole, dall'erba medica fino ai sottoprodotti industriali come le polpe di barbabietola. Tuttavia, l'attitudine a dare un buon insilato non è uguale per tutti questi materiali, ma varia con una serie di fattori, sia intrinseci, sia legati alle tecniche di insilamento. Tra questi fattori, giocano un ruolo fondamentale:

- contenuto in zuccheri fermentescibili;
- contenuto in proteine;
- potere tampone;
- flora batterica;
- contenuto di sostanza secca;
- presenza di terra;
- specie botanica;
- epoca di raccolta;
- trinciatura.

Contenuto in zuccheri fermentescibili

Questi importanti composti costituiscono il substrato utilizzato dai microrganismi preposti alle trasformazioni necessarie per la conservazione del foraggio (batteri lattici); ad esempio, per i foraggi prativi è stato calcolato che sussistono buone probabilità di avere un buon insilato quando il loro contenuto in zuccheri supera il 2,5% sull'erba tal quale.

Il contenuto in zuccheri dipende da:

- natura del foraggio (composizione floristica): abbondano nei cereali raccolti alla maturazione cerosa, scarseggiano nei foraggi di leguminose;
- concimazione alla coltura: una equilibrata disponibilità di elementi nutritivi favorisce la produzione di idrati di carbonio;
- condizioni climatiche durante la crescita: sono favorevoli le lunghe giornate soleggiate in quanto

+ radiazione solare ⇔+ idrati di carbonio;

- momento del taglio: tagliando il pomeriggio (se possibile) si avranno più zuccheri perché durante le ore centrali del giorno è massima l'attività fotosintetica;
- epoca del taglio: in primavera le condizioni più favorevoli alla fotosintesi favoriscono una maggiore sintesi di idrati di carbonio; in autunno per la minore insolazione e le giornate più corte questo contenuto è più basso. E' stato stimato che in primavera un'erba di prato polifita può contenere tra il 12 e il 20% di zuccheri, mentre in autunno scende fra il 3 il 12%.

Se la concentrazione di zuccheri non è sufficiente per avviare e far proseguire una buona fermentazione si può ricorrere all'aggiunta di acidi, o altri additivi ad azione conservante, oppure alla concentrazione degli zuccheri attraverso l'eliminazione di una parte di acqua (preappassimento del foraggio).

Contenuto in proteine

Le proteine non sono un substrato fermentescibile quindi, ai fini dell'insilamento, una loro elevata presenza non contribuire all'andamento dei processi batterici, anzi risulta dannosa poiché si oppone al veloce abbassamento del pH.

Il contenuto in proteine è, essenzialmente, una caratteristica genetica tipica di ogni specie (ad esempio, le graminacee ne contengono meno delle leguminose) che può variare con lo stadio vegetativo al momento della raccolta (foraggi raccolti in stadio avanzato ne contengono meno).

Per la riuscita dell'insilamento il rapporto tra zuccheri fermentescibili e proteine (Zf/P) dovrebbe essere superiore a 2; con valori inferiori si deve, in alcuni casi, provvedere all'aggiunta di opportuni additivi: con un rapporto Zf/P superiore a 0,8 non sono necessari additivi, a condizione che la sostanza secca sia tra il 20 e il 30%; con rapporti compresi fra 0,7 e 0,4 non sono necessari additivi, ma è necessaria la sfibratura del foraggio; infine, con valori inferiori a 0,4 è indispensabile l'aggiunta di additivi.

Potere tampone

Il potere tampone esprime la resistenza che il foraggio oppone alla sua acidificazione; più è alto questo potere, maggiore dovrà essere la formazione di acido lattico per portare il pH su valori minori o uguali a 4 e, pertanto, maggiore sarà il consumo di zuccheri fermentescibili.

Il potere tampone dipende essenzialmente (per il 60-80%) dai sali degli acidi organici del foraggio (citrico, malico, succinico, ecc.) e, in minor misura (20%, circa), dalle proteine e dagli ioni minerali. Anche la specie fornitrice del foraggio ha la sua importanza: ad esempio il mais raccolto alla maturazione cerosa ha un potere tampone ridotto a due terzi rispetto a quello di un'erba di prato. Nel corso dell'insilamento il potere tampone aumenta per la formazione di acidi organici e di altri prodotti della fermentazione.

Flora batterica

Nella massa del foraggio insilato i batteri lattici sono gli unici desiderabili. Questi microrganismi sono già presenti nel foraggio fresco, seppure in quantità molto variabili (fino a $100.000 \cdot g^{-1}$ di s.s.), ma quasi sempre sufficienti per innescare la fermentazione.

Si può affermare che la riuscita dell'insilamento è legata all'esito della "lotta" tra i batteri lattici e gli altri microrganismi, normalmente presenti nel foraggio.

Contenuto di sostanza secca

Un basso contenuto in acqua significa un'alta concentrazione di zuccheri (tab. 7): ciò costituisce il presupposto essenziale per l'avvio e il buon proseguimento delle fermentazioni; inoltre, un alto contenuto di sostanza secca porta ad una significativa riduzione delle perdite per percolazione e crea un ambiente sfavorevole allo sviluppo dei clostridi.

Per tutti questi validi motivi non si debbono mai insilare foraggi con meno del 18-20% di sostanza secca.

Tabella 7- Variazioni del contenuto di sostanza secca e di carboidrati solubili in acqua (C.s.a.) e del potere tampone in alcuni foraggi allo stadio in cui è massima la produzione di $UF \cdot ha^{-1}$ al 1° ciclo di vegetazione (da: Demarquilly, 1982).

Specie	Stadio fenologico	Sostanza secca (%)	C.s.a. su s.s. (%)	Potere tampone (1)
Erba medica	inizio boccioli fiorali	17 (16-18)	7 (4-10)	150 (150-180)
Trifoglio violetto	boccioli fiorali	14 (11-17)	10 (8-12)	-
Erba mazzolina	inizio spigatura	17 (15-19)	8 (5-10)	85 (70-95)
Festuca arundinacea	inizio spigatura	19 (16-22)	10 (8-12)	80 (70-90)
Loglio perenne	inizio spigatura	18 (14-23)	15 (12-20)	90 (70-105)
Loglio italico	inizio spigatura	18 (14-20)	17 (15-20)	95 (75-120)
Mais	maturazione cerosa	33 (30-35)	10 (7-12)	50 (55-75)

(1): mg di acido lattico necessari per abbassare a 4,0 il pH di 1 g di sostanza secca di foraggio seccato e macinato.
I valori riportati tra parentesi sono quelli minimi e massimi.

Presenza di terra

La terra è il veicolo che trasporta nell'insilato le spore della flora butirrica (clostridi); per ridurre la presenza è importante:

- il portamento della pianta: bene quello eretto;
- la distribuzione della produzione sulla pianta: è preferibile che questa sia collocata nella parte medio-alta del fusto;
- la resistenza all'allettamento, così da evitare il contatto della pianta con il terreno;
- la riduzione del tempo di permanenza a terra del foraggio (in caso di preappassimento).

Idoneità all'insilamento delle specie foraggere

In base a quanto detto sino ad ora e a titolo orientativo, si insilano:

- molto difficilmente: erba medica, perché contiene molte proteine, pochi zuccheri e molti sali di calcio;
- più o meno difficilmente: trifogli, trifogli+graminacee, erba di prato polifita, erba mazzolina, loiessa;
- facilmente: cereali a maturazione cerosa, residui di barbabietola, polpe di barbabietola, trebbie di birreria, ecc.

N.B.: l'insilamento è facile quando non è necessaria l'aggiunta di additivi per ottenere una buona conservazione.

Epoca di raccolta

L'epoca di raccolta è stabilita, di solito, come compromesso tra l'esigenza di avere un materiale fresco, facilmente comprimibile, ricco di succhi cellulari, e la necessità che questo abbia il giusto contenuto di zuccheri fermentescibili ed emetta il minimo di succhi di colatura. Per i diversi tipi di foraggio si individuano diversi momenti per la raccolta:

- all'inizio della spigatura per le graminacee e della fioritura per l'erba medica e le altre leguminose, od ogni qual volta si vuole privilegiare la qualità alla quantità: una raccolta precoce, infatti, permette di avere il massimo contenuto di zuccheri fermentescibili;
- alla maturazione latteo-cerosa nell'orzo (le reste non debbono indurire troppo) e nel sorgo (se troppo indurita la granella non è digerita dal bestiame);
- alla maturazione cerosa nel frumento (varietà mutiche) e nel mais (30-32 % di sostanza secca della pianta intera).

Trinciatura

La trinciatura risulta essenziale per favorire l'avvio delle fermentazioni e per farle proseguire nel senso desiderato: dalle superfici di taglio di foglie e steli fuoriescono i succhi cellulari che costituiscono il primo substrato utilizzato dai microrganismi; inoltre, i frammenti, piuttosto che la pianta intera, rendono possibile un migliore compattamento della massa e una maggiore espulsione dell'aria.

Per conseguire i migliori risultati dall'insilamento è importante (anche) regolare la lunghezza di taglio dei frammenti, in funzione del tipo di materiale da insilare:

- 20-30 mm per l'erba;
- 10-20 mm per i cereali vernini raccolti alla maturazione cerosa;
- 6-8 mm per il mais raccolto alla maturazione cerosa.

I valori più bassi, anche se è costoso ottenerli (in termini di energia e tempo spesi), debbono essere raggiunti quando l'erba è piuttosto avanti nella maturazione e il mais "ceroso" supera il 34-

35 % di sostanza secca. In presenza di materiali meno secchi si può aumentare la lunghezza dei frammenti (senza però superare i valori massimi sopra riportati) proporzionalmente al contenuto in acqua; con erba fresca piuttosto giovane può essere sufficiente la semplice sfibratura ottenuta, ad esempio, con macchine raccogliatrici “a duplice taglio” (figg. 34-35).

Quando si trincia il mais raccolto alla maturazione cerosa, un taglio troppo fine comporta una eccessiva frammentazione delle cariossidi e dà all’insilato un aspetto farinoso, sfavorevole alla ruminazione degli animali, mentre la presenza di grossi pezzi di tutolo, stocchi o foglie (oltre l’1% di frammenti con lunghezza superiore a 20 mm) non consente la compressione della massa, peggiora la conservazione dell’insilato e aumenta lo scarto. E’ importante la presenza di una frazione di medie dimensioni (lunghezza 10-12 mm), compresa tra il 5 e il 15% della massa, necessaria per favorire la masticazione, la ruminazione e la produzione di saliva da parte degli animali.

Le cariossidi debbono essere frammentate a seconda del loro grado di maturazione così da facilitarne la digestione: allo stadio latteo-ceroso è sufficiente che siano appena “toccate” (lunghezza teorica di trinciatura 5 mm, circa); allo stadio ceroso debbono essere tagliate; allo stadio vitreo può essere necessario il loro schiacciamento. Qualora la disintegrazione dei grani fosse troppo spinta (fino a farina) si può aumentare la lunghezza (teorica) di trinciatura fino a 7-8 mm, assicurando, però, una sufficiente trinciatura delle parti fibrose.

ADDITIVI CON FUNZIONE CONSERVANTE

Quando si insila erba fresca potrebbero verificarsi difficoltà nell'avvio delle fermentazioni a causa dell'elevato contenuto in acqua del foraggio; per evitare questo inconveniente si può ricorrere al preappassimento dell'erba, oppure si può "orientare" la fermentazione mediante additivi.

Gli additivi utilizzabili sono numerosi ed esplicano diversi effetti, ma l'opportunità di impiegarli deve essere sempre valutata in termini economici: si deve confrontare il loro costo con le minori perdite di valore nutritivo ottenibili con il loro impiego. In Italia esiste una normativa che garantisce l'innocuità (piuttosto che l'efficacia) degli additivi verso l'uomo e il bestiame.

Nell'impiego dei diversi prodotti l'esito è condizionato da:

- una buona tecnica di insilamento, in quanto l'uso dell'additivo non costituisce una sicura garanzia di buona riuscita del processo, ma è solo un mezzo supplementare;
- una scelta oculata dell'additivo a seconda dell'azione desiderata;
- un dosaggio sufficiente, da stabilire in funzione del tipo di foraggio da conservare: ad esempio, nell'insilamento delle leguminose si usano dosi più elevate che per le graminacee (fino al doppio);
- una distribuzione omogenea del prodotto in modo che tutto il foraggio arrivi a contatto dell'additivo.

Tra i molti prodotti utilizzabili come additivi solo pochi hanno un effettivo interesse in campo applicativo; di solito sono classificati in base al tipo di azione che svolgono o che ci si propone debbano esercitare sulla microflora dell'insilato (tab. 8)

Tabella 8 - Classificazione degli additivi per gli insilati (da: Ciotti, 1992).

Gruppo	Tipo di azione	Esempi
Acidi	Indurre variazioni qualitative della microflora	Miscela Giglioli-Virtanen; acido solforico; acido formico
Inibitori della fermentazione	Inibire la microflora in generale	Formaldeide; sodio metabisolfito
Stimolanti della fermentazione	Stimolare la rapida proliferazione dei batteri lattici o favorire la loro dominanza	Melasso; enzimi; colture microbiche
Agenti microbici specifici	Inibire direttamente lo sviluppo dei clostridi	-

Acidi

Rappresentano il mezzo più efficace per insilare erba troppo acquosa (es.: sfalci tardivi di prati polifiti, loiessa, ecc.).

◆ *Metodo Giglioli-Virtanen*. E' stato il primo metodo per acidificare i foraggi; era usata una miscela di acido solforico e acido cloridico nel rapporto 86 e 14% in volume, diluita in 6 parti di acqua e usata alla dose di $10 \text{ L} \cdot \text{t}^{-1}$ di erba che portava il pH intorno a 3,5 bloccando tutti i processi vitali del foraggio e tutti i processi fermentativi. Con il tempo il metodo è stato abbandonato perché non scevro da pericoli per il bestiame: una grande quantità di ioni solfato e cloruro si accumulavano nell'organismo dell'animale.

◆ *Acido formico*. Oggi la miscela sopra citata è stata sostituita con acidi organici che hanno un'azione più blanda rispetto agli acidi solforico e cloridico, ma non lasciano residui minerali nell'organismo dell'animale, oppure con acido fosforico che lascia lo ione fosfato utilizzabile dall'animale. Questi acidi, essendo relativamente costosi, sono utilizzati a dosaggi sufficienti a portare il pH intorno a 4: a questo livello si bloccano la funzione respiratoria del foraggio, la

proteolisi e l'attività dei batteri coliformi, mentre sono ancora attivi i fermenti lattici.

Tra gli acidi organici, l'acido formico è il più utilizzato come conservante (soprattutto nei Paesi scandinavi e in Francia); la sua azione positiva si esplica in diversi modi:

- favorendo la fermentazione lattica;
- riducendo le perdite di conservazione;
- inducendo un aumento nel consumo volontario di insilato da parte del bestiame e migliorando l'utilizzazione dell'azoto da parte degli animali;
- contenendo lo sviluppo di enterobatteri e batteri endosporici.

L'acido formico è utilizzato a dosi di soluzione tecnica ($850 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) di $2\text{-}4 \text{ L}\cdot\text{t}^{-1}$ di erba, portati a $5 \text{ L}\cdot\text{t}^{-1}$ nel caso di erba medica fresca.

L'acido formico può essere validamente sostituito con formiato d'ammonio perché meno volatile, irritante e corrosivo; è utilizzato a dosi superiori del 30% rispetto all'acido.

Negli ultimi anni è ripreso l'interesse verso l'acido solforico perché meno costoso dell'acido formico; il suo impiego è oggi possibile senza inconvenienti grazie al miglioramento dei sistemi di incorporazione del prodotto nel foraggio. Si utilizza un soluzione tecnica ($450 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) alla dose di $2\text{-}3 \text{ L}\cdot\text{t}^{-1}$ di erba.

Inibitori della fermentazione

Sono prodotti che ostacolano l'attività di tutti i microrganismi indesiderati, in particolare quelli della fermentazione butirrica, senza nuocere alla fermentazione lattica.

◆ *Aldeide formica*. E' distribuita come formalina (soluzione acquosa stabilizzata al 35%, circa) e utilizzata in eccesso, trattandosi di un composto volatile.

L'aldeide formica è il batteriostatico più usato, nonostante non sia scevro da inconvenienti: ai bassi dosaggi ($3 \text{ L}\cdot\text{t}^{-1}$) non ostacola l'attività tardiva dei clostridi, pertanto all'apertura del silo il foraggio si ricopre di muffe e degenera facilmente, mentre agli alti dosaggi ($9 \text{ L}\cdot\text{t}^{-1}$) riduce la digeribilità delle proteine. Per questi motivi è vantaggioso l'uso di miscele di formalina (25-30%, al massimo) con acido formico e acido solforico (in varie formulazioni) che possono dare migliori risultati dei singoli acidi, rispetto ai quali sono anche meno irritanti. Queste miscele sono impiegate nelle dosi di $3\text{-}3,5 \text{ L}\cdot\text{t}^{-1}$ di foraggio verde per le graminacee e $5 \text{ L}\cdot\text{t}^{-1}$ per le leguminose.

◆ *Esamina* (esametilentetramina). Si trasforma in ammoniaca ed aldeide formica, riducendo così il tasso di azoto solubile nel rumine. Questo prodotto (impiegato soprattutto nei Paesi scandinavi) è costoso ma risulta efficace, di facile impiego e non corrosivo. In commercio l'esamina si trova formulata, di solito, in miscela con il nitrito di sodio e si impiega in ragione di $2 \text{ kg}\cdot\text{t}^{-1}$ di foraggio.

◆ *Metabisolfito*. Libera anidride solforosa che può rendere sgradevole il foraggio, riducendone il consumo volontario da parte degli animali; per ridurre questo inconveniente si dovrebbero utilizzare distributori più efficienti così da ridurre il dosaggio, rispetto ai $10 \text{ kg}\cdot\text{t}^{-1}$ normalmente impiegati.

L'esamina e il metabisolfito di sodio sono composti polverulenti o granulari, meno nocivi per l'operatore dei composti liquidi o gassosi, ma più difficili da distribuire in modo uniforme.

Stimolanti delle fermentazioni

Per una migliore conservazione dell'insilato si può intervenire direttamente sul pH, abbassandolo fino a livelli di sicurezza con l'uso di acidi minerali e organici, ma si può agire anche indirettamente impiegando prodotti capaci di stimolare l'avvio della fermentazione lattica. L'attivazione si può conseguire mediante l'aggiunta di:

- substrati per aumentare la disponibilità di materiali utili per la fermentazione lattica;
- enzimi per scindere i componenti della pianta ricchi in substrati fermentescibili;
- batteri lattici selezionati, capaci di produrre più acido lattico dalla stessa quantità di substrato.

Substrati

◆ *Melasso*. E' un sottoprodotto dello zuccherificio contenente il 50%, circa, di saccarosio; ha colore bruno e consistenza viscosa, pertanto per una migliore distribuzione deve essere diluito in acqua nel rapporto 1:1. Per conseguire i migliori risultati è necessaria una buona tecnica di insilamento e, possibilmente, l'aggiunta di inoculi di batteri lattici.

Si impiegano 30-40 kg di melassa per tonnellata di foraggio.

◆ *Amido*. Non è direttamente utilizzabile dai batteri lattici, ma deve essere prima trasformato in maltosio dall'amilasi. Pertanto, si trovano in commercio farine di cereali (orzo) associate a malto (fornitore di enzimi idrolitici) o a enzimi amilolitici, con o senza aggiunta di siero di latte in polvere. Queste miscele sono addizionate ad altri cereali (es.: sfarinato di mais) in ragione del 10% e quindi aggiunte al foraggio da insilare.

Dosi usuali sono comprese tra 50 e 100 kg·t⁻¹ di erba fresca.

Enzimi

Si tratta, solitamente, di idrolasi derivate da colture fungine dei generi *Aspergillus* e *Trichoderma*. La loro azione porta alla fornitura di "monosi", utili alla fermentazione lattica, derivati dall'idrolisi dei diversi polisaccaridi presenti nei vegetali, quali amido, cellulosa, emicellulosa e pectine. Queste idrolisi portano anche ad un miglioramento della digeribilità del foraggio.

L'alto costo delle dosi necessarie per una piena efficacia limita l'uso degli enzimi nel campo applicativo. In commercio si trovano associati a inoculi batterici.

Batteri lattici omofermentanti (additivi biologici)

La flora lattica è già presente sul foraggio, ma in numero molto variabile e, spesso, con valori molto distanti dall'ottimale 10⁶ ufc (unità formanti colonia) per grammo di foraggio trinciato, tanto da rendere difficoltoso l'avvio della fermentazione.

Oggi sono disponibili sul mercato prodotti contenenti batteri omolattici appartenenti a ceppi di *Lactobacillus plantarum*, di solito associati a ceppi di *Pedococcus acidilactici* (più efficace quando il pH è ancora alto), da distribuire come inoculo sul foraggio all'atto dell'insilamento. Questi batteri rendono sicuro l'avvio della fermentazione lattica per la loro elevata capacità moltiplicativa che li mette in grado di sopraffare le altre flore microbiche, normalmente presenti; inoltre, essendo costituiti solo da forme omolattiche, utilizzano il substrato con maggiore efficienza rispetto a quanto possono fare quelli "naturali" che raggruppano forme sia omo che eterolattiche. I migliori risultati si ottengono con erba ricca di zuccheri fermentescibili; tuttavia l'utilità dell'inoculazione si apprezza appieno quando questi scarseggiano.

Con l'impiego di batteri lattici omofermentanti si conseguono diversi vantaggi:

- si ottiene un insilato meglio fermentato, con minori contenuti di acido acetico, acidi grassi volatili e ammoniaca (questo stimola un più alto consumo volontario);
- si consegue una riduzione delle perdite per fermentazioni nocive;
- si accelera l'abbassamento del pH, importante per "indirizzare" il processo fermentativo nel senso desiderato;
- si contiene la ripresa dell'attività di enterobatteri, lieviti e muffe dopo l'apertura del silo.

I batteri lattici dovrebbero essere utilizzati in dosi capaci di apportare al foraggio non meno di 10⁶ ufc per grammo di erba.

Agenti antimicrobici specifici

◆ *Nitrito di sodio*. Questo sale agisce liberando lentamente ossido di azoto che ostacola i clostridi e le muffe; ha spettro d'azione molto largo.

È commercializzato in formulati in cui è combinato con formiato di calcio o esametilentetramina.

◆ *Antibiotici.* Sono allo studio antibiotici, sia naturali che di sintesi, da utilizzare nella conservazione dei foraggi.

PRATICA DELL'INSILAMENTO

A seconda delle caratteristiche del foraggio, intese come idoneità all'insilamento, si possono adottare due sistemi di insilamento: diretto e indiretto.

L'*insilamento diretto* viene adottato per foraggi al giusto grado di umidità o, comunque, ricchi di zuccheri fermentescibili, come ad esempio il mais o i cereali autunno-vernini raccolti alla maturazione cerosa. Con questo tipo di insilamento il foraggio è raccolto, di norma, con la falciatrinciaticaricatrice e subito trasportato al silo ed insilato. Se si dovesse insilare direttamente foraggio molto ricco di acqua, è necessario ricorrere all'uso di additivi, da spruzzare in prossimità del rotore trinciante (operazione costosa, ma necessaria nei Paesi del Nord-Europa dove non è possibile il preappassimento). Per evitare l'uso di additivi si può ritardare la raccolta, ma si perde valore nutritivo.

L'*insilamento indiretto* adottato, di solito, per i foraggi prativi, molto acquosi, presuppone il preappassimento del foraggio; questa pratica è pienamente attuabile in Italia perché le condizioni ambientali la rendono quasi sempre possibile. I vantaggi del preappassimento ai fini della conservazione del foraggio possono essere così sintetizzati:

- aumento della concentrazione dei succhi cellulari;
- attenuazione della proteolisi;
- riduzione dell'attività dei microrganismi nocivi, in particolare dei clostridi.

I foraggi di graminacee (es.: loiessa) possono essere insilati quando la sostanza secca è salita al 26-28 %, mentre con foraggi poco zuccherini e/o con alto potere tampone (es.: erba medica) debbono essere portati al 35-38% di s.s., senza però superare questi valori per non avere una massa difficilmente compattabile che faciliterebbe successivi scambi gassosi con l'esterno.

Il preappassimento presenta innegabili vantaggi, tuttavia non è scevro da inconvenienti che è bene tenere nella giusta considerazione:

- poiché tra lo sfalcio e la raccolta dal campo passa del tempo, il foraggio è soggetto all'alea dell'andamento meteorologico;
- per accelerare e rendere uniforme la perdita di acqua dal foraggio si deve provvedere al condizionamento e all'apertura dell'andana, al rivoltamento dell'erba e alla successiva andanatura necessaria per la raccolta; tutto ciò comporta un aggravio dei costi;
- il contatto con il terreno e i passaggi delle macchine operatrici possono accrescere l'imbrattamento dell'erba con particelle di terra contenenti spore di clostridi.

Nel rispetto dei suoi principi fondamentali l'insilamento può essere effettuato seguendo modalità diverse a seconda:

- delle attrezzature di raccolta disponibili in azienda o fornite da contoterzisti;
- del tipo di silo disponibile;
- del sistema di compattazione utilizzabile;
- delle procedure di desilamento: meccanico o attraverso *self-feeding*.

Queste modalità sono scelte (a volte imposte) da situazioni organizzative contingenti che dipendono:

- dalle dimensioni dell'azienda (in definitiva quanto foraggio può essere prodotto);
- dalle dimensioni dell'allevamento (quanto foraggio necessita);
- dal tipo di coltura da insilare (di facile o difficile insilamento);
- dalle disponibilità di capitali;
- dalla possibilità di avvalersi di contoterzisti da affiancare a personale e mezzi aziendali, così da accelerare le operazioni di raccolta e caricamento dei silo, oppure per eseguire completamente le operazioni per mancanza di mezzi specifici in azienda.

SILI A TRINCEA (O SILI ORIZZONTALI)

La trincea è, senza dubbio, è la modalità più diffusa per l'insilamento di molti materiali: sia quelli che non presentano grandi difficoltà per la conservazione, come i cereali raccolti a maturazione cerosa, sia quelli che necessitano di accorgimenti, come i foraggi in erba (lojessa). Tutto ciò grazie a una serie di validi motivi:

- economicità nella realizzazione e nella gestione del contenitore;
- affidabilità del risultato, a condizione che il foraggio sia ben costipato e isolato dall'aria esterna;
- estrema praticità d'uso per quanto concerne il caricamento e il desilamento del prodotto.

Altri vantaggi conseguibili con i sili a trincea possono essere: contenimento delle perdite, adottando una buona tecnica; parziale svincolamento da eventi atmosferici per la ridotta permanenza in campo del foraggio; elevata capacità di lavoro.

Tuttavia, nonostante quanto sopra affermato, anche con i sili a trincea possono verificarsi inconvenienti, quali:

- elevate perdite in caso di fermentazioni anomale (insufficiente compressione del foraggio, mancanza di precauzioni nel caso di foraggio troppo acquoso, ecc.);
- possibili inquinamenti con terra (veicolo dei clostridi);
- necessità di una buona preparazione degli operatori.

Caratteristiche costruttive del silo

Nella concezione del silo si deve tenere conto, innanzi tutto, dell'allevamento (consistenza e tipo) e del numero di giorni in cui l'alimentazione prevede l'insilato; mentre nella realizzazione debbono essere tenuti presenti alcuni accorgimenti tecnici, di seguito riportati.

- Poiché un silo è sempre fonte di inquinamento è necessario che nella sua ubicazione si rispettino alcune distanze di sicurezza; almeno:

- 30-40 m da pozzi di acqua potabile;
- 100 m da abitazioni di terzi;
- 200 m da spiagge;
- 500 m da zone piscicole.

▪ Per determinare il volume (approssimativo) di un silo a trincea (fig. 26) si possono tenere presenti queste indicazioni:

- 20-30 m³·ha⁻¹ per i foraggi in erba;
- 50-60 m³·ha⁻¹ per il mais a "maturazione cerosa".

▪ Il fondo del silo deve avere una pendenza del 2-4% verso l'apertura, così da favorire l'evacuazione dei succhi di colatura e l'eventuale acqua di ruscellamento.

▪ Le pareti laterali possono essere disposte verticalmente, per favorire il desilamento meccanico, oppure leggermente convergenti verso il basso per favorire il compattamento della massa durante il caricamento.

▪ La lunghezza (L) del silo può essere determinata tenendo conto della velocità giornaliera di desilamento (*dg*) e il numero di giorni di razione da stoccare (*gr*):

$$L = dg \times gr$$

il desilamento giornaliero deve essere sufficientemente rapido ($200 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ in estate, $100 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ in inverno) e frequente (dopo 2 ore si hanno forti alterazioni della superficie esposta).

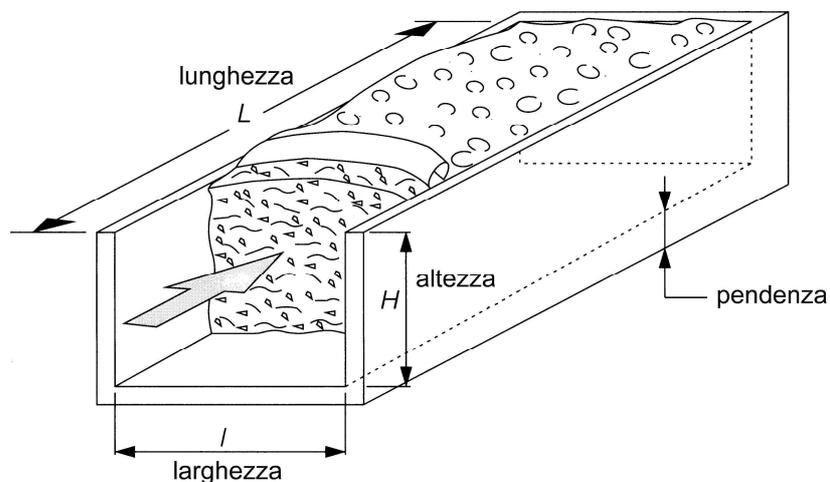


Figura 26 - Principi di dimensionamento di un silo a trincea (da: CEMAGREF, 1995).

▪ La sezione trasversale del silo (S) può essere determinata dividendo il volume dell'insilato da distribuire ogni giorno (vig) per la velocità giornaliera di desilamento (vgd):

$$S = \frac{vig}{vgd}$$

▪ L'altezza delle pareti (H) dovrebbe essere determinata in base alla modalità di desilamento: quando il prodotto è prelevato con la desilatrice le pareti possono raggiungere l'altezza massima di lavoro della macchina, mentre nel caso di alimentazione libera (*self-feeding*) di bovini l'altezza non dovrebbe superare 1,80 m.

▪ Di norma la larghezza (l) non dovrebbe superare i 4-5 m, corrispondenti, all'incirca, al doppio della larghezza di una trattrice, non di più per non avere un fronte troppo ampio esposto all'aria nel corso dell'utilizzazione; in caso di alimentazione libera si dovrebbe prevedere 1 m per ogni 5 capi.

▪ Nelle zone ventose l'apertura del silo non deve essere mai posta contro il vento dominante per non favorire un rapido disseccamento della superficie esposta dopo ogni prelevamento.

▪ Per evitare che la terra raccolta con le ruote dei carri sia trasportata entro il silo e imbratti il foraggio (si ricorda che la terra è il veicolo delle spore dei clostridi) è necessario realizzare davanti all'apertura del silo una piazzola in cemento o in bitume

Regole per il buon funzionamento

Il cantiere di raccolta del foraggio deve avere una elevata capacità di lavoro così da completare quanto prima il riempimento del silo. A questo proposito, ottima soluzione è affiancare contoterzisti alle forze aziendali per avere cantieri di lavoro di 5-6 unità uomo e 3-4 trattrici, capaci di raccogliere fino a $12-15 \text{ ha}\cdot\text{d}^{-1}$ di foraggio appassito di primo taglio di prato (con raccogli-trinciataricaricatrice semovente), oppure $10-12 \text{ ha}\cdot\text{d}^{-1}$ nel caso di insilamento diretto (con falciatrinciarraccogliatrice); per il mais raccolto a maturazione cerosa con falciatrinciataricatrice "a sei file" si possono superare i $12 \text{ ha}\cdot\text{d}^{-1}$.

◆ *Riempimento e chiusura.* L'operazione deve essere effettuata nel più breve tempo possibile, avvalendosi di un cantiere di raccolta in grado di far affluire una grande quantità oraria di foraggio. Il materiale scaricato nel silo è ripreso con una trattrice dotata di pala frontale e ammassato ad

iniziare dalla parete di fondo, realizzando piani inclinati il più possibile. Durante il caricamento si deve prestare particolare cura nel pareggiare e comprimere la massa, quest'ultima operazione ottenuta con ripetuti passaggi di trattrice. A ogni fine giornata è importante chiudere con un telo di PE la superficie esposta del foraggio (fig. 27) per impedire la fuoriuscita dell'aria interna, riscaldatasi per la respirazione cellulare, che sarebbe sostituita da aria fresca ricca di ossigeno.

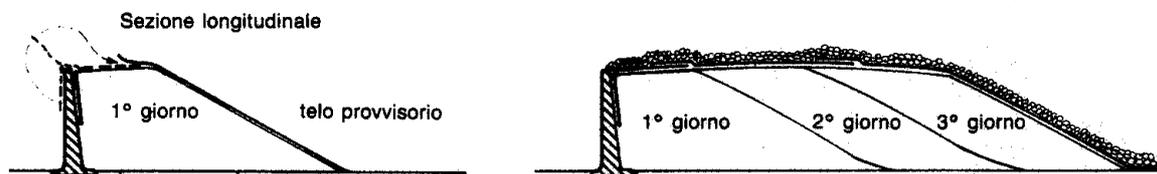


Figura 27 – Riempimento progressivo e copertura di un silo a trincea (da: Ciotti, 1992; mod.).

I silo a trincea molto lunghi possono essere realizzati senza la parete di fondo; le due aperture consentono (nel caso di raccolte successive) il caricamento da un lato e l'utilizzazione dall'altro.

Ultimato il caricamento si provvede alla chiusura finale del silo assicurando, nel miglior modo possibile, una buona tenuta all'aria, soprattutto nelle zone di congiunzione. Nella figura 28 è riportato un esempio di chiusura razionale del silo a trincea.

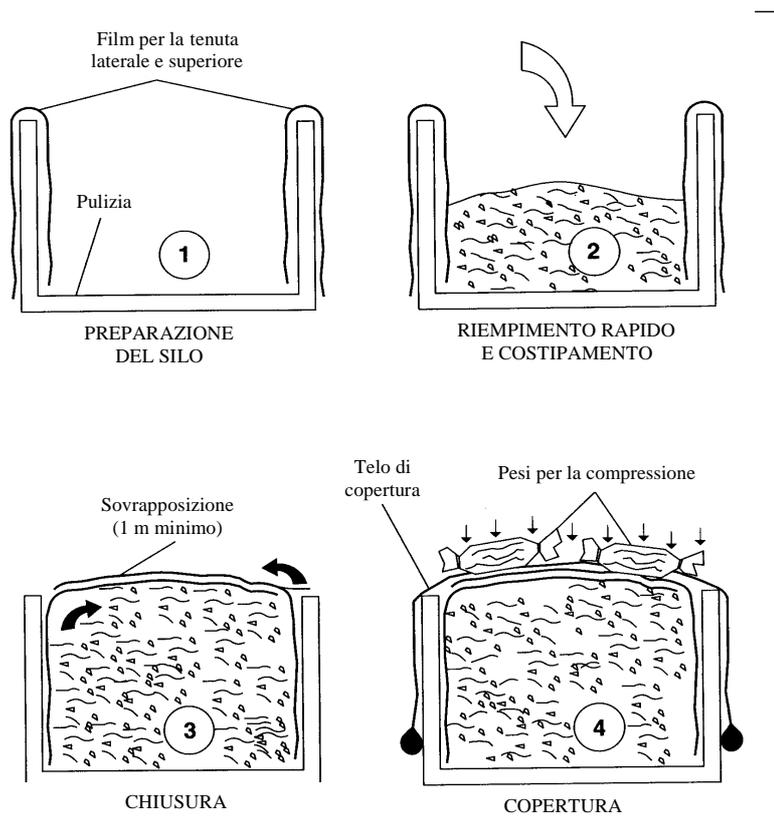


Figura 28 – Disposizione dei teli di copertura e chiusura di un silo a trincea (da: CEMAGREF, 1995).

1) disposizione dei teli sulle pareti laterali; 2) riempimento del silo con le modalità riportate nella figura 27; 3) chiusura del silo ribaltando e sovrapponendo le parti esterne dei teli; 4) disposizione del telo di copertura (longitudinale) e applicazione dei pesi per mantenere compressa la massa.

◆ *Dopo la chiusura.* E' necessario mantenere compressa la massa per impedirne il sollevamento che favorirebbe l'ingresso e il movimento di aria all'interno del silo, soprattutto nelle zone vicino alle pareti (qui è più difficoltoso il compattamento), dove potrebbe aumentare il pH favorendo lo sviluppo dei clostridi e il verificarsi di deterioramenti aerobici di superficie che portano alla formazione del cosiddetto "cappello". La compressione può essere ottenuta mediante pesi che assicurino un carico uniforme di almeno $100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. Ad esempio, possono essere utilizzati: uno strato di sabbia o di terra, piastre in calcestruzzo, sacchetti di sabbia; non sono molto adatti i pneumatici usati perché esercitano una compressione insufficiente e non uniforme.

◆ *Dopo l'apertura.* Bisogna ridurre al minimo l'ingresso d'aria nella massa, togliendo con gradualità la copertura man mano che arretra il fronte di prelevamento. Inoltre, il desilamento deve essere effettuato frequentemente e su tutto il fronte usando desilatrici (a fresa o a blocchi). Come già detto i prelievi giornalieri dovrebbero essere profondi almeno 100 mm, circa, in inverno e 200 in estate.

Succhi di colatura

Insilando erba fresca, o non sufficientemente appassita, si ha la formazione di succhi di colatura sotto forma di effluenti liquidi, più o meno viscosi, inquinanti (4 volte il liquame di vacca) e corrosivi, che defluiscono dal silo per gravità e per compressione. La colatura porta alla perdita di sostanze solubili di pregio (zuccheri, acidi organici, aminoacidi, sali minerali) per un quantitativo di sostanza secca intorno al 6%.

La quantità di effluenti prodotta dipende dal contenuto in acqua dei foraggi; alcune relazioni, basandosi sul tenore in sostanza secca, permettono di prevederne l'entità. Quella generale di Zimmer (1969) è la seguente:

$$Q = 832,6 - 5,418 S + 0,00883 S^2$$

dove: Q = quantità di effluenti ($\text{L}\cdot\text{t}^{-1}$ di erba insilata);

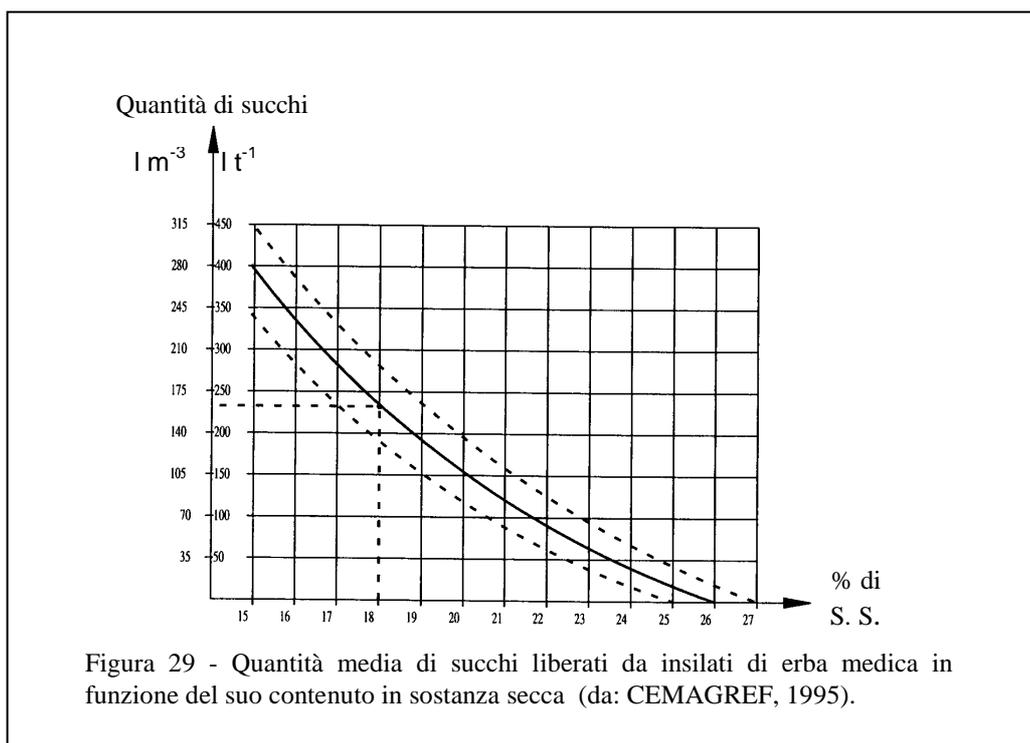
S = contenuto di sostanza secca ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ dell'erba stessa).

Nella figura 29 è riportata la relazione che lega la produzione di succhi di colatura al contenuto in sostanza secca del foraggio insilato; si nota che con valori di sostanza secca compresi tra il 25 e il 27 % i succhi sono praticamente assenti, ma scendendo al 18% se ne producono ben $160 \text{ L}\cdot\text{m}^{-3}$ di insilato.

Per limitare la colatura bisogna insilare i foraggi con oltre il 20% di sostanza secca, oppure, se le condizioni ambientali lo permettono, ricorrendo al preappassimento dell'erba; è stato calcolato che portando la sostanza secca dal 18 al 22% i succhi si riducono del 60 %, circa.

Se la quantità di succhi attesa non è rilevante, si possono utilizzare materiali assorbenti come paglia trinciata, posta sul fondo del silo, oppure polpe di barbabietola disidratate (capaci di trattenere succhi per il doppio del proprio peso) o cereali tritati, mescolati all'erba durante l'insilamento.

Quando si insilano materiali ricchi di acqua (es.: foraggi prativi freschi), dai quali è ragionevole attendersi elevate produzioni di succhi di colatura, si deve provvedere a raccogliarli e stocarli, non essendo consentito il loro sversamento nei corsi d'acqua. Poiché questi succhi hanno un contenuto medio in elementi fertilizzanti pari a 3 kg di N, 1 kg di P_2O_5 e 4 kg di $\text{K}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-3}$, quindi pressoché analogo a quello di un liquame bovino, si può pensare al loro smaltimento spandendoli sul terreno, conseguendo così il duplice vantaggio di uno smaltimento senza problemi e un apporto gratuito di elementi fertilizzanti.



A questo fine è necessario:

- raccogliere i succhi in pozzetti a tenuta e di adeguata capacità (per erba non appassita il volume deve essere pari all'8% della capacità teorica del silo);
- spandere i succhi sui campi, nella quantità massima di $10 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$;
- rispettare le distanze di sicurezza da corsi d'acqua, pozzi, ecc.;
- evitare lo spandimento in giornate troppo calde (emanazione di cattivi odori) o troppo piovose (scarso assorbimento da parte del terreno con conseguente pericolo di scorrimento superficiale fino alle fosse);
- diluire i succhi al 50% per un migliore spandimento e per evitare bruciature alle piante.

INSILAMENTO IN CUMULI

Con materiali che non presentano problemi nella conservazione (es.: pastone di spighe di mais, polpe di barbabietole, ecc.), ma anche con il foraggio, l'insilamento può essere effettuato in semplici cumuli con forma allungata.

Rispetto all'insilamento in trincea questo sistema richiede minori costi iniziali, ma presenta qualche difficoltà operativa; inoltre, necessita di una superficie per unità di prodotto conservato quasi doppia, a causa del minore spessore del materiale insilato, e possono essere maggiori le perdite di superficie (cappello).

Realizzazione

E' bene che i cumuli di grandi dimensioni siano realizzati su platea in cemento, mentre quelli più piccoli possono essere posti su terreno, purché drenante.

Per il caricamento, la compressione, la sovrapposizione degli strati e la copertura (fogli di PE) del foraggio (fig. 30) si adottano gli stessi criteri del silo a trincea; dopo la copertura sui fogli di plastica si pone uno strato di terra, allo scopo di mantenere compressa la massa. Per evitare che la pioggia asporti questa terra sarebbe opportuno seminarci dell'erba (molto indicata la loiessa per il suo rapido accrescimento), inoltre il feltro radicale che si forma facilita l'asportazione graduale della terra sotto forma di piate erbose; sempre per mantenere *in situ* la terra i fianchi dei cumuli non devono avere una pendenza superiore a 25-30°.

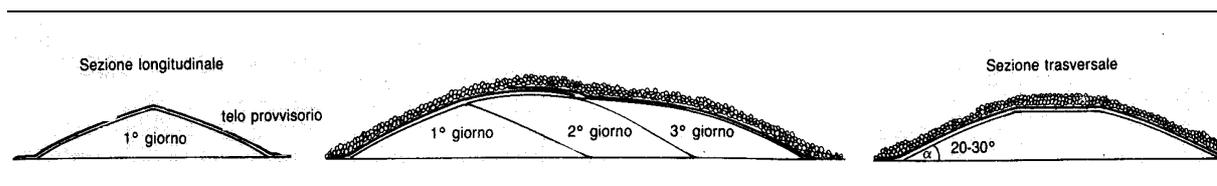


Figura 30 - Formazione di un silo-cumulo (da: Ciotti, 1992).

N. B.: è preferibile fare più cumuli di dimensioni ridotte, coperti e appesantiti la sera stessa della formazione, piuttosto che cumuli di grandi dimensioni realizzati in più giorni.

INSILAMENTO IN SILI A TORRE

Vicino alle stalle delle nostre campagne è frequente incontrare ancora costruzioni in cemento di forma cilindrica, con finestre poste a diverse altezze e dotate di ballatoi. Si tratta dei silo utilizzati nell'insilamento "all'italiana", o "cremasco", messo a punto dal Samarani intorno al 1928 per l'ottenimento del "fieno-silo". Questo metodo prevede l'insilamento di erba non trinciata e preappassita fino al 30-35 % di umidità per quella di prato polifita e al 40-45 % per quella di erba medica. Da tempo questo metodo è stato abbandonato a causa della gravosità del lavoro necessario per il caricamento e lo scaricamento del foraggio.

Oggi i silo a torre (fig. 31) sono strutture cilindriche, realizzate con diversi materiali (calcestruzzo, doghe di legno, piastre di acciaio, vetroresina), in grado di assicurare una ottima tenuta all'aria. Questi silo sono utilizzati per insilare materiali con alto contenuto in sostanza secca e poveri di sostanze fermentescibili.

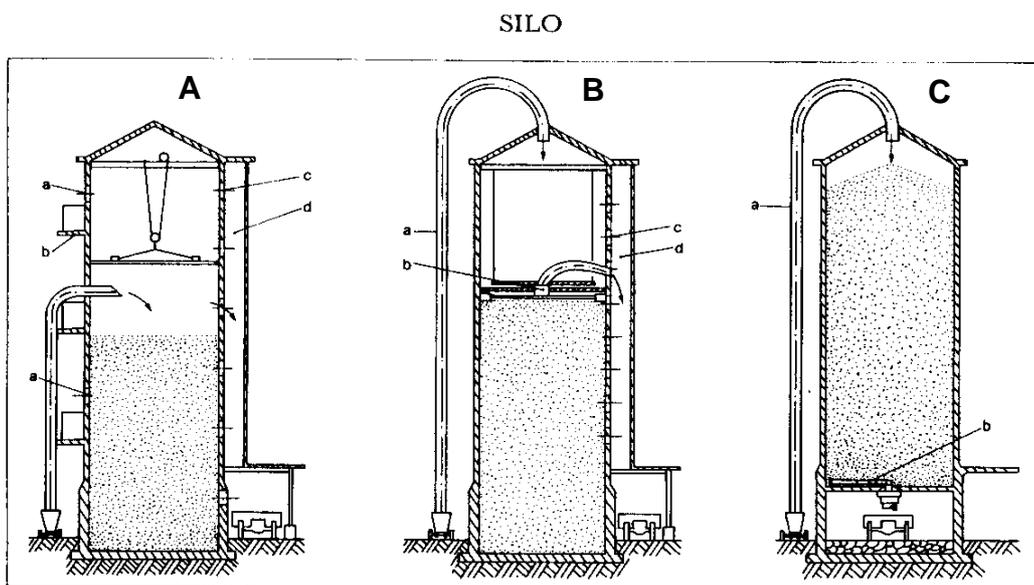


Figura 31 – Diversi tipi di silo a torre.

A) silo verticale a compressione di tipo cremasco, dotato di soffiatore per il caricamento: a - aperture per il carico disposte su due file verticali sfalsate, chiuse ermeticamente con sportelli metallici aperti verso l'interno; b - ballatoio; c - aperture per lo scarico protette esternamente da un canale; d - (colonna di scarico che scende fino a circa 2,50 m da terra). – B) silo verticale a ciclo discontinuo con scarico dall'alto: a - insilatrice; b - desilatrice; c - aperture per lo scarico; d - colonna di scarico. – C) silo verticale a ciclo continuo con scarico dal basso: a - insilatrice; b - desilatrice impiegata per lo scarico del silo. (Da: Enciclopedia agraria italiana, vol. XI; R.E.D.A.).

Caratteristiche

Il riempimento del silo avviene dall'alto mediante soffiatori che sollevano il foraggio trinciato; data la non elevata capacità di lavoro di questo dispositivo, il caricamento costituisce spesso il punto critico per i tempi di raccolta. Nei silo a torre non è richiesta la compressione del foraggio in quanto è sufficiente il peso della massa via via sovrapposta per ottenere il giusto grado di assestamento (nel tipo cremasco, invece, era necessaria la compressione perché l'erba non trinciata opponeva resistenza allo schiacciamento).

Lo scarico dell'insilato può avvenire con diverse modalità, a seconda del dispositivo di cui è dotato il silo: dall'alto, mediante desilatori a coclea o a rastrelli rotanti; oppure dal basso, con fresa a catena (per il buon funzionamento del dispositivo è opportuno che il foraggio sia trinciato molto corto). Quest'ultimo metodo consente un insilamento a "ciclo continuo" potendo caricare (dall'alto) il foraggio fresco mentre si preleva (dal basso) quello già fermentato.

I sili a torre sono impianti di notevole costo (ad esempio il tipo Harvestore), spesso fuori della portata delle aziende, quindi giustificabili solo quando inseriti come elementi di una catena di distribuzione completamente automatizzata che preleva il foraggio dal silo, lo porta ai miscelatori e da qui alle mangiatoie.

Nella tabella 9 sono riportati alcuni elementi tecnici dei sili a torre, elaborati dal C.E.M.A.G. di Gembloux (Belgio).

Tabella 9 - Alcuni parametri di sili a torre (da: Vanbelle *et al.* 1992; mod.)

Volume (m ³)	Altezza (m)	Diametro (m)	Densità apparente (kg·m ³ s.s.)
100 ~	6,50	2,25	175 ~
200 ~	10,50	2,50	200 ~
300 ~	12,00	2,80	225 ~
500 ~	18,00	3,00	250 ~

CANTIERI DI RACCOLTA PER I FORAGGI DA INSILARE.

La raccolta dei foraggi destinati all'insilamento è un'operazione a volte complessa che prevede diversi interventi, eseguiti con un unico passaggio di falciatrinciacaricatrice, oppure in due tempi: falciandanatura (quando necessario falciacondizionatura), prima, e successivo recupero del foraggio preappassito, mediante raccoglietrinciacaricatrice.

Tutti i cantieri di raccolta prevedono la trinciatura, indispensabile per ottenere il compattamento della massa all'interno del silo e per provocare la fuoriuscita di succhi cellulari utilizzati dai microrganismi come substrato alimentare. Si possono avere tre tipi di trinciatura, ottenibili con diversi dispositivi trincianti: a coltelli rotativi, a flagelli, a coltelli fissi. Il primo consente di avere trinciati fini, per questo è usato prevalentemente per il mais raccolto a maturazione cerosa, ma anche per l'erba da insilare. La trinciatura a flagelli, invece, si applica su erba ancora in piedi che viene lacerata e ridotta in frammenti più o meno fini (variando il tipo di flagelli e la velocità di rotazione dell'asse su cui sono portati), a seconda se il foraggio è destinato all'insilamento o al foraggiamento verde. La trinciatura con coltelli fissi, infine, è impiegata per erba destinata al foraggiamento verde, oppure per foraggio preappassito destinato all'insilamento; gli steli sono ridotti in frammenti piuttosto lunghi, da 40 a 150 mm. Con questo dispositivo trinciante possono essere equipaggiati sia rimorchi autocaricanti (dotati di distributore nel caso di foraggiamento verde) che raccogliimbaltatrici con le quali si confezionano balle destinate alla fasciatura.

A seconda di come sono mosse queste macchine possono essere:

- *semoventi*, quando sono dotate di un motore che ne consente sia il movimento autonomo che l'azionamento degli organi;
- *trainate*, quando sono dotate di ruote, ma debbono essere trainate da una trattore dalla quale prendono anche il movimento per i propri organi;
- *portate*, quando le macchine operatrici sono solidali con la trattore, essendo collegate con l'attacco a tre punti e con la presa di potenza.

La figura 32 riporta la vista schematica di una falciatrinciacaricatrice semovente per la raccolta di mais alla maturazione cerosa, mentre la figura 33 illustra lo schema di una raccoglietrinciacaricatrice, anch'essa semovente. In entrambe i casi le macchine sono dotate di dispositivi per: 1) la raccolta del foraggio (nel primo caso piante ancora in piedi, nel secondo foraggio in andana); 2) l'alimentazione dell'apparato trinciante; 3) la trinciatura; 4) l'espulsione e il caricamento del materiale.

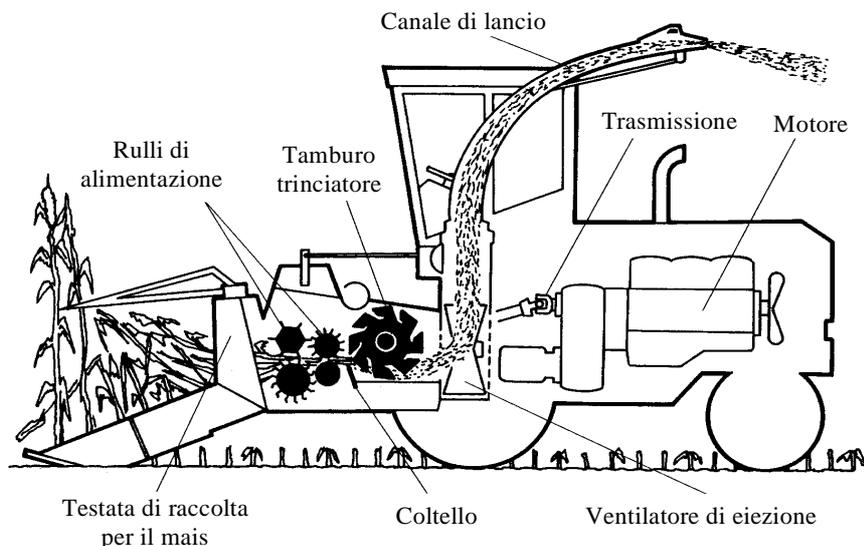


Figura 32 – Vista schematica di una falciatrinciacaricatrice semovente a tamburo trinciatore (da: CEMAGREF, 1995).

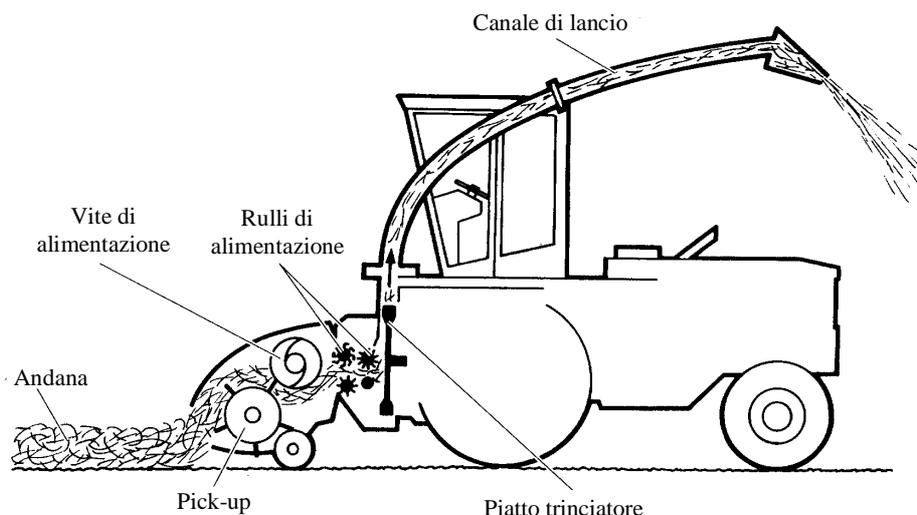


Figura 33 – Vista schematica di una raccogli-trinci-caricatrice semovente a piatto trinciatore (da: CEMAGREF, 1995).

Nelle figure 34 e 35, infine, sono disegnati una raccogli-trinci-caricatrice trainata e il suo dispositivo a doppio taglio (*crop-chopper*). Questa macchina rappresenta un compromesso tra una raccogli-caricatrice a flagelli e una raccogli-trinci-caricatrice a taglio fine: i flagelli raccolgono, lacerano e lanciano il foraggio in un canale sul cui fondo ruota una vite senza fine che convoglia il materiale verso un piatto trinciatore a coltelli radiali; il foraggio trinciato è espulso nel canale di lancio dall'energia cinetica e dalla ventilazione. Con questa macchina a doppio taglio si ottiene una trinciatura più fine e più regolare rispetto a quella ottenibile con quelle a flagelli; inoltre per la bassa velocità di rotazione dei flagelli ci sono meno possibilità di portare terra nel foraggio.

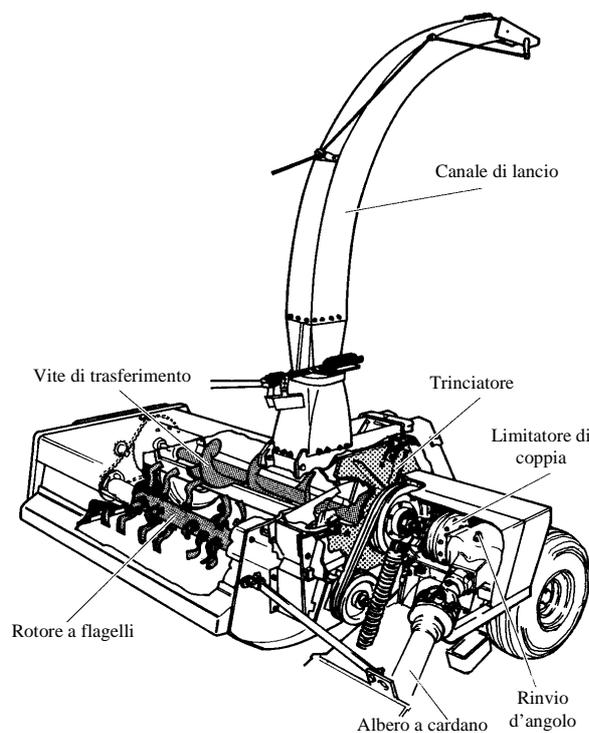


Figura 34 – Raccogli-trinci-caricatrice a doppio taglio (da: CEMAGREF, 1995).

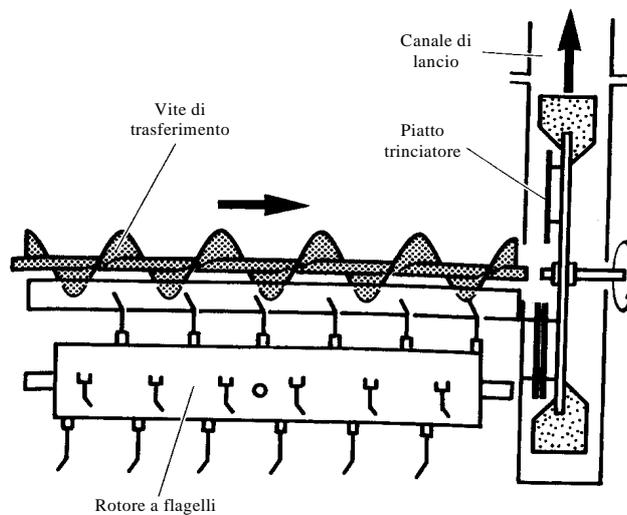


Figura 35 – Raccoglietrinciacaricatrice a doppio taglio: particolare degli organi trincianti (da: CEMAGREF 1995).

Mezzi per il trasporto del foraggio da insilare

Per il trasporto del foraggio dal campo al centro aziendale, dove, solitamente, sono ubicati i sili, possono essere utilizzati diversi mezzi. Ad esempio, per il trasporto del trinciato di mais si usano spesso i camion che hanno il vantaggio di una cospicua capacità di carico, ma il loro notevole peso può avere conseguenze negative sul terreno (compattamento), specialmente se bagnato; meglio sarebbe usare i rimorchi agricoli, magari dotati di ruote a sezione larga.

◆ *Rimorchi con sovrasponde*

Si tratta di rimorchi trainati da trattrici, muniti di sovrasponde per aumentare la capacità di carico, usati per trasportare foraggi trinciati, sia di erba che di mais. I rimorchi viaggiano affiancati alla falciatrinciacaricatrice ricevendo il trinciato attraverso il canale di lancio di questa macchina. E' importante che il cantiere di raccolta sia dotato di un adeguato numero di rimorchi, in modo che la macchina per la raccolta possa operare senza interruzioni.

Il numero (n) di rimorchi necessario può essere così calcolato:

$$n = \frac{T_s + T_t}{T_r} + 1$$

dove: T_s : tempo di scarico,
 T_t : tempo di trasporto,
 T_r : tempo di riempimento;

mentre per determinare il tempo di riempimento:

$$T_r (h) = \frac{\text{capienza rimorchio (t)}}{\text{capacità trinciacaricatrice (t per ora)}}$$

◆ *Carri trincianti autocaricanti*

Si tratta di carri semoventi dotati di *pick-up* per il sollevamento dell'andana e di apparato trinciante. Sono diffusi in diversi Paesi del Nord Europa e in Austria, dove sono utilizzati, prevalentemente, per l'insilamento di foraggi preappassiti. Rispetto alle grosse raccoglietrinciacaricatrici questi carri sono dotati di maggiore maneggevolezza, pertanto sono più adatti ad

appezzamenti di ridotte dimensioni e acclivi; altro loro innegabile vantaggio è la possibilità che offrono all'azienda di operare autonomamente dai contoterzisti, potendo così scegliere il momento della raccolta in funzione delle condizioni meteorologiche e dello stadio fenologico della coltura.

Naturalmente la capacità di lavoro di queste macchine è ridotta, rispetto alle grosse raccogli-trinci-caricatrici, quindi trovano proficuo impiego in cantieri per il riempimento di sili di volume limitato; inoltre, per ridurre i tempi di insilamento la distanza tra i campi di raccolta e i sili da riempire non dovrebbe superare i 2 km.

INSILAMENTO IN CONTENITORI IN PLASTICA

Intorno al 1970, con la diffusione delle materie plastiche in agricoltura, furono proposti metodi per la conservazione del foraggio fresco in contenitori a tenuta d'aria. Ma solo 10-15 anni dopo la pratica operativa ha acquisito questa metodologia; prima su foraggi non trinciati e raccolti in balle cilindriche (più tardi in balle prismatiche) e successivamente su foraggi trinciati.

INSILAMENTO DELL'ERBA IN ROTOBALLE

Il metodo si è diffuso tra il 1980 e il 1985 nelle regioni del Nord Europa. Si tratta di una tecnica che prevede la raccolta in rotoballe di erba preappassita e la sua conservazione mediante insilamento; ciascuna balla, avvolta da un film in Polietilene, costituisce un minisilo contenente circa 15 razioni UBA, da consumare preferibilmente nei 3-4 giorni successivi all'apertura, così da ridurre il deterioramento aerobico del foraggio.

Questa frammentazione in più unità della massa del foraggio comporta un aumento dei costi rispetto, ad esempio, all'insilamento in trincea, ma ha il vantaggio di poter conservare e spostare il materiale in diversi punti dell'azienda, a seconda dei bisogni alimentari del bestiame, o per il foraggiamento di gruppi separati di bestiame, magari con differenti esigenze alimentari. Tale frammentazione nello spazio e nel tempo della distribuzione non è possibile con sili di grandi dimensioni ubicati, di solito, in prossimità dei luoghi di consumo.

L'involucro in film plastico costituisce un contenitore ermetico cosicché il principio di conservazione è quasi analogo a quello di un silo classico a fermentazione anaerobia. Spesso il foraggio è intero per la mancata trinciatura dell'erba, questo comporta che:

- i batteri hanno minore disponibilità di zuccheri fermentescibili liberi; da ciò la necessita di un preappassimento più spinto (non meno del 45% di sostanza secca) che nell'insilamento a "taglio fine";
- il foraggio non tagliato si compatta di meno, trattenendo più aria; ciò esalta la respirazione con conseguente aumento della temperatura della massa fino a circa 45 °C nella prima settimana di conservazione, ma senza conseguenze sulle proteine del foraggio.

L'insilato ottenuto è caratterizzato da appetibilità elevata e costante, tanto che spesso gli animali lo preferiscono ad altri foraggi (sembra per il particolare "aroma" acquisito dall'insilato in seguito al riscaldamento); il livello di ingestione si situa tra il fieno e l'insilato ottenuto da "trinciato fine" conservato in trincea.

L'insilamento in balle consente di ottimizzare il potenziale di produzione foraggera, ma difficilmente può essere utilizzato come unico mezzo di conservazione in sistemi foraggeri intensivi realizzati su superfici importanti: lo sconsigliano la sua (relativamente) bassa potenzialità di cantiere e la necessità di un preappassimento spinto che fa crescere i rischi di incappare in giorni di pioggia. Pertanto, l'insilamento in balle deve essere considerato una tecnica complementare all'insilamento tradizionale, da utilizzare in situazioni particolari, quali:

- insufficiente capacità dei sili;
- foraggi ottenuti occasionalmente (cereali immaturi, sorgo, ecc.);
- eccedenze di ributti;
- foraggi ottenuti da appezzamenti di ridotta superficie, o acclivi, o umidi, dove le grosse macchine per la raccolta trovano difficoltà di movimento;
- foraggi difficilmente conservabili con metodi tradizionali.

Fasciatura delle rotoballe

Nelle prime applicazioni del metodo le rotoballe erano racchiuse singolarmente, o in numero di due-tre o più, in sacchi di polietilene dello spessore di 0,12-0,15 mm. L'insaccamento avveniva manualmente sollevando le balle con la forca applicata frontalmente alla trattrice. Questa operazione poteva causare forature che, seppure piccole, consentivano l'ingresso dell'aria nello spazio compreso tra sacco e rotoballa con conseguente deterioramento del foraggio.

Con la realizzazione delle macchine fasciatrici è stato possibile meccanizzare l'intera filiera, dalla falciatura alla conservazione; inoltre, avvolgendo le rotoballe con più strati di una pellicola in tensione strettamente aderente al foraggio, si ottiene una compressione della massa e una maggiore resistenza dell'involucro.

◆ *Caratteristiche della pellicola*

La pellicola è ottenuta da Polietilene non traslucido (nero, verde, marrone) ed è dotata costantemente di queste caratteristiche:

- elevata e durevole elasticità;
- alta resistenza alla tensione dopo lo stendimento (+ 30-40 %);
- spessore 0,025 mm;
- resistenza alle radiazioni UV, ottenuta con additivi come: carbone (colore nero), benzofenone, chelati al Ni, ecc.

La pellicola è confezionata in bobine di larghezza (0,50-0,75-1,00 m) e lunghezza (1.500-1.800 m) variabili; per rotoballe di 1,2 m di diametro e altrettanto di larghezza occorrono circa 940 g di film, mentre per rotoballe di 1,5 m di diametro e 1,2 di larghezza il fabbisogno sale a 1.100 g. Per contenere i tempi necessari alla fasciatura sarebbe preferibile utilizzare film di larghezza maggiore; ad esempio, con pellicole larghe 0,75 m, anziché 0,50, si riducono i tempi del 50 % e aumenta la tenuta all'aria (i raccordi diminuiscono di 1,5 volte).

◆ *Fasciatura*

La fasciatura ha lo scopo di creare un imballaggio capace di ridurre al minimo l'aria entro la rotoballa (pressione della pellicola sul foraggio), impedendone il ricambio, poiché per la buona riuscita dell'insilato è essenziale la tenuta all'aria.

L'operazione si esegue con apposite macchine fasciatrici, riconducibili a due tipi: a tavolo rotante e avvolgitore fisso (fig. 36), o a braccio rotante intorno alla balla che rimane fissa (fig. 37); entrambe possono essere trainate dalla trattrice (più adatte in pianura e/o dove le rotoballe sono fasciate a bordo campo), oppure "portate" (meno costose delle precedenti e più adatte in terreni acclivi o quando si effettua la fasciatura a postazione fissa).

Esistono macchine particolari (Kverneland) concepite per la fasciatura simultanea di due rotoballe; il loro principio di funzionamento è pressoché simile a quello delle fasciatrici a tavolo rotante. Con queste macchine si dimezzano i tempi di esecuzione e si risparmia circa il 25 % di pellicola.

Nel realizzare la fasciatura metà larghezza della pellicola deve essere sovrapposta al "passaggio" precedente, così da migliorare la tenuta all'aria e la resistenza meccanica; ripetendo per due volte questa operazione la balla sarà ricoperta da quattro strati successivi (fig. 38). Con questo tipo di ricoprimento, che è il più praticato, la capacità di lavoro della macchina è di 15-20 rotoballe per ora. E' possibile aumentare il ricoprimento fino al 66 %, riducendo gli strati da quattro a tre. La scelta dell'entità del ricoprimento e del numero di "passaggi" risulta da un compromesso fra costo dell'operazione (costo della pellicola e tempo necessario per l'operazione), valore del foraggio da insilare e durata presunta della conservazione.

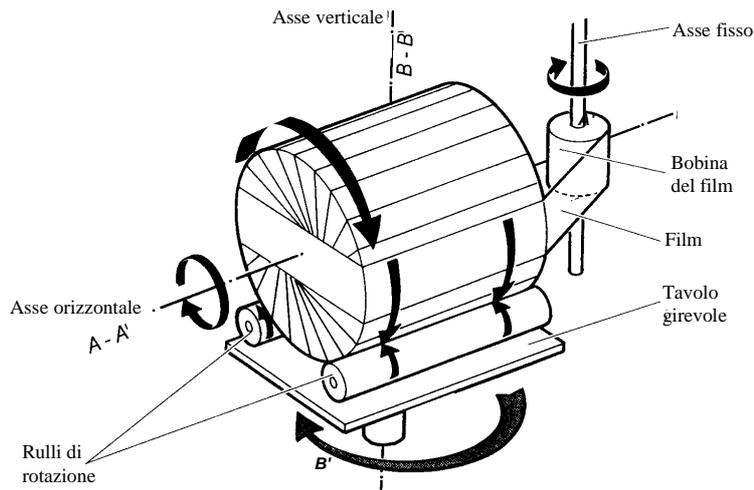


Figura 36 - Fasciatrice a tavolo rotante (da: CEMAGREF, 1995).

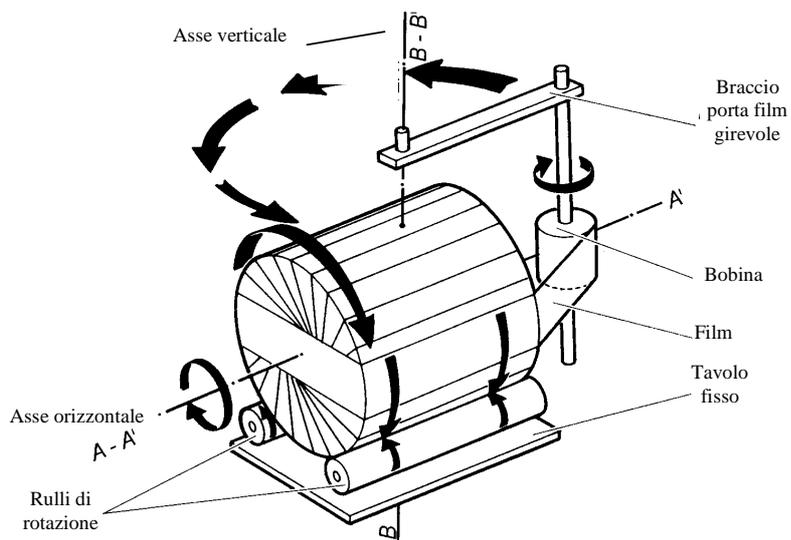


Figura 37 - Fasciatrice a braccio rotante (da: CEMAGREF, 1995).

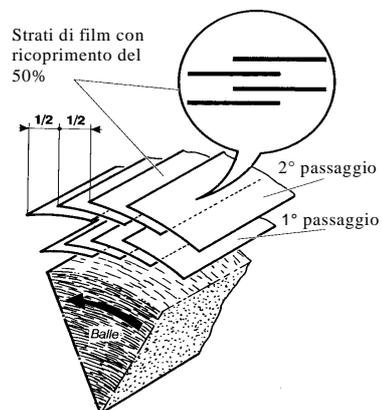


Figura 38 - Schema di fasciatura in due passaggi (da: CEMAGREF, 1995).

Per una buona fasciatura è necessario rispettare alcune importanti regole:

- non fasciare balle malformate o con densità insufficiente (trattengono troppa aria);
- non fasciare in caso di pioggia perché l'acqua ostacola l'aderenza del film al foraggio;
- effettuare la fasciatura entro 3 ore dalla formazione della rotoballa;
- regolare il centraggio del film rispetto all'asse orizzontale della balla;
- regolare la giusta tensione del film;
- controllare il giusto ricoprimento tra “passaggi” successivi di pellicola (nelle macchine con regolatore di tensione idraulico il valore può cambiare durante il lavoro in seguito a cambiamenti del regime di giri del motore e/o della viscosità dell'olio idraulico);
- verificare la riuscita della fasciatura su ciascuna balla;
- per ridurre i rischi di lesioni alla pellicola (in seguito a manipolazioni) sarebbe opportuno effettuare la fasciatura sul luogo di stoccaggio piuttosto che nel campo.



Figura 39 - Rotoballe fasciate

Dopo la fasciatura le rotoballe non debbono essere lasciate al sole per evitare il deterioramento del PE e per non accentuare le escursioni giornaliere di temperatura e pressione all'interno dei minisilo. Infine, per evitare lacerazioni alla fasciatura, è importante che la movimentazione delle rotoballe avvenga mediante caricatori frontali, muniti di dispositivi adatti a limitare i rischi di perforazione delle balle (rulli rotanti sui due elementi della forca), oppure con pinze radiali.

La densità (in sostanza secca) delle rotoballe dipende dalla raccogliemballatrice utilizzata: con imballatrice a camera fissa varia da 110 a 160 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; con camera a volume variabile da 150 a 190 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. La densità ha scarsi effetti sulla conservazione.

Recentemente sono state realizzate macchine fasciatrici per l'insilamento in continuo di molte rotoballe (fig. 40). Queste macchine sono dotate di una grande capacità di lavoro (da 70 a 100 rotoballe per ora) e consentono un risparmio di pellicola di PE intorno al 40-50 %; possono essere dotate di motore autonomo, oppure essere mosse dal sistema idraulico della trattrice (di adeguata potenza) che le traina.

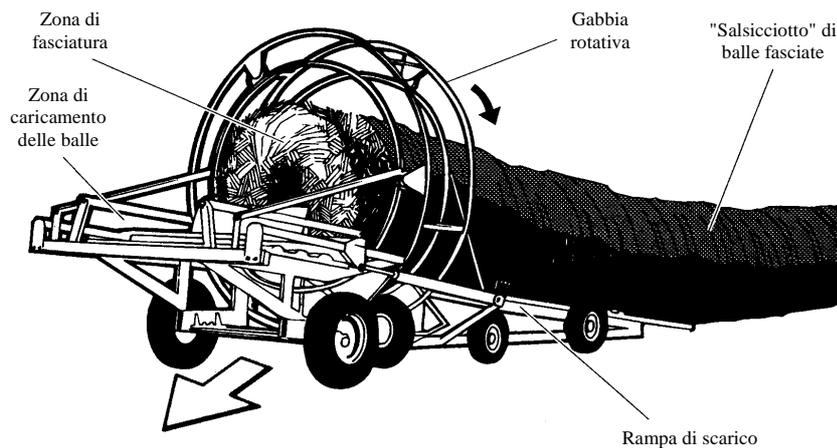


Figura 40 - Fasciatrice in campo (da: documento Grays of Fetterangers).

Esistono anche macchine che non fasciano ma inglobano in un tubo di plastica elastica fino a 35 rotoballe (fig. 41).



Figura 41- Rotoballe insilate entro un tubo in materiale plastico.

Al termine della trattazione dell'insilamento in rotoballe possono essere così riassunti i pregi e i difetti di questo metodo di raccolta e conservazione dei foraggi.

Pregi del metodo:

- vantaggi della raccolta in rotoballe;
- flessibilità operativa (frammentazione della massa di foraggio nello spazio e nel tempo);
- svincolamento dalle condizioni atmosferiche (rispetto alla fienagione);
- riduzione delle perdite (erba appassita e piccole unità silo);
- trinciatura del foraggio non necessaria (iniziale risparmio di tempo ed energia);
- attuabilità anche in aziende di non grandi dimensioni (cantiere di lavoro tanto ridotto da essere sufficiente anche un solo operatore);
- prodotto trasportabile e commercializzabile.

Difetti del metodo:

- notevoli costi di esercizio (solo per il film di PE: 4-5,00 euro per rotoballa);
- piccola dimensione dei “sili”;
- necessità dello smaltimento del film plastico dopo l’uso;
- manipolazione delle rotoballe molto delicata (pericolo di forare il contenitore);
- possibili attacchi di roditori (fori);
- mancanza di trinciatura del foraggio (minore compattabilità del foraggio, spreco da parte del bestiame).

INSILAMENTO IN BALLE PRISMATICHE GIGANTI

In analogia a quanto ottenuto con le balle cilindriche, anche per quelle prismatiche è stato messo a punto un metodo di insilamento entro contenitori di Polietilene (film); sebbene i risultati siano altrettanto validi, il metodo non è ancora molto diffuso. I risultati sono ottimi anche perché il foraggio è confezionato con imballatrici del tipo ad altissima densità che limita la presenza dell'aria all'interno della balla; per questo è possibile insilare, senza inconvenienti, anche fieno-silo fino al 60-70 % di sostanza secca. Si utilizzano le stesse macchine usate per la raccolta di paglia o fieno, ottenendo balle giganti di erba appassita (non trinciata), con densità fino a 250 kg di sostanza secca per m³.

Realizzazione

Le balle non sono fasciate singolarmente, ma vengono accatastate in piccoli cumuli di dimensioni tali che una volta aperti durino 6-8 giorni in estate e 20-22 in inverno.

I cumuli sono costituiti su platea in cemento, o su terreno, isolandoli dal fondo con 1-2 fogli di PE di dimensioni superiori alla base del cumulo. Questo è coperto da tutti i lati con teli di PE che arrivano (abbondantemente) fino a terra, utilizzando due teli di spessore 0,10-0,12 mm, oppure un solo telo di 0,18 mm; la copertura deve essere realizzata a tenuta d'aria, in modo da isolare la massa dall'esterno. Ciò è ottenuto sovrapponendo la parte in eccesso dei teli delle pareti con il lembo in eccesso della base e ponendo sulla giuntura sabbia asciutta; quindi i due lembi sono ripiegati su questo cordolo sovrapponendo ancora della sabbia per sigillare le connettiture (fig. 42).

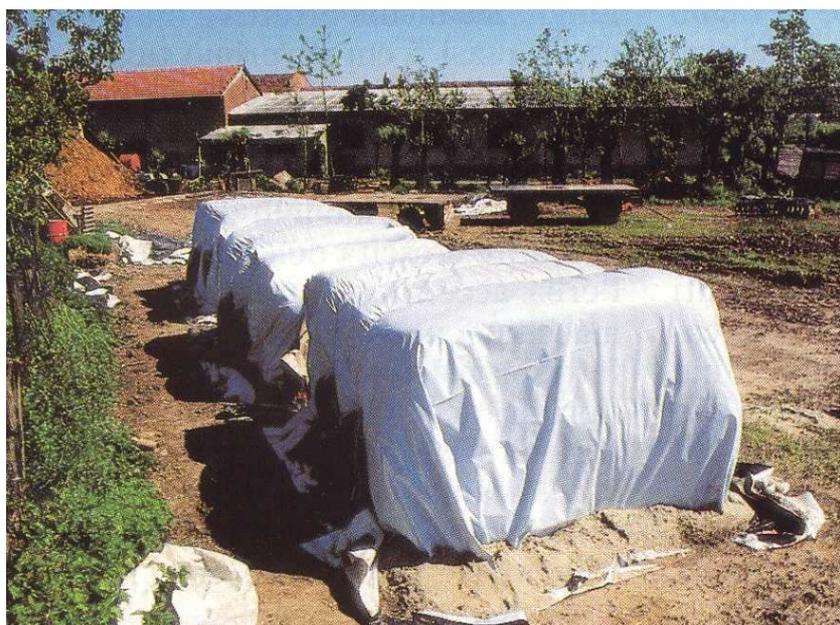


Figura 42 – Insilamento in balle prismatiche giganti (da: Ciotti, 1992; mod.).

Anche per le balle prismatiche cominciano ad essere disponibili le fasciatrici.

INSILAMENTO IN CONTENITORE TUBOLARE ORIZZONTALE (*TUBE-LINE*)

Questo metodo di insilamento utilizza come contenitore un tubo in materiale plastico di grandi dimensioni. Proposto intorno al 1970, non ebbe successo per la scarsa rispondenza dei materiali plastici allora utilizzati; oggi, grazie al miglioramento dei materiali, è stato riproposto in forma perfezionata e sta incontrando il favore degli agricoltori risultando competitivo, in termini di capacità operativa, con l'insilamento delle rotoballe. Il metodo *tube-line* offre la possibilità di conservare diversi materiali: trinciato integrale di mais od orzo, foraggio di loiessa (preappassito fino al 40 % di sostanza secca), farina umida di spighe di mais, granella umida di orzo, polpe di barbabietola, trebbie di birreria, ed altro. La densità del materiale insilato varia da 170 a 250 kg·m⁻³ per i foraggi e da 450 a 500 kg·m⁻³ per le granelle e le farine.

Il contenitore realizzato in "polietilene bassa densità + polietilene bassa densità lineare" può avere un diametro di 2-3 m e una lunghezza variabile fino a 100 m (in Italia solitamente 2,40 m di Ø e 50-60 m di lunghezza); una volta riempito il contenitore rimane adagiato sul terreno assumendo una sezione ovoidale.

La macchina (fig. 43) è costituita da una coclea coassiale con il contenitore, mossa dalla presa di potenza della trattrice, che preleva il materiale da una tramoggia e lo comprime entro il contenitore tubolare. Inizialmente il tubo è raccolto vicino alla pressa, poi, man mano che si riempie, si distende in seguito all'arretramento della pressa; questo movimento è regolato da un dispositivo di frenaggio che agisce sulle ruote: variando la velocità di spostamento si ottiene una diversa compressione dell'insilato e, quindi, una diversa densità. In alcune macchine il dispositivo agisce su due argani che rilasciano lentamente due cavi tesi tra l'insaccatrice e un telaio di tenuta posto sul fondo del contenitore.



Figura 43 - Insilamento in contenitore tubolare: a) veduta della pressa insilatrice (da: Ciotti, 1992); b) tramoggia per l'alimentazione; c) dispositivo per il frenaggio; d) particolare del contenitore in PE: la distanza fra i trattini sovrapposti indica il grado di riempimento del contenitore.

Il dispositivo per la compressione, oltre che a coclea, può essere a rotore con martelli infaldatori. Le potenze richieste variano tra 60 e 100 kW.

Nel caso di foraggio in erba il metodo può avvalersi notevolmente dell'uso di carri autocaricanti dotati di trinciatrice a coltelli; in questo modo l'agricoltore può rendersi indipendente dai contoterzisti.

Importante!

E' prevedibile che tecniche di insilamento valide, adattabili e flessibili, come quelle che utilizzano la fasciatura delle balle con film plastici, o contenitori tubolari, troveranno sempre più il favore degli agricoltori. Tuttavia, come per altri contenitori in materiali plastici, usati per concimi, antiparassitari, sementi, ecc., o per i teli dismessi dalle serre o dalla pacciamatura, si porrà il problema del recupero e del riciclaggio di tali materiali, dal momento che ne è vietata sia la dispersione nell'ambiente che la bruciatura.

Si rammenta che i materiali plastici debbono essere conservati in azienda e consegnati periodicamente a ditte specializzate nel recupero di tali materiali.

PERDITE DI INSILAMENTO

Nell'insilamento si verificano sempre perdite di sostanze nutritive, ma in modo diverso per origine ed entità, a seconda del materiale da conservare (contenuto in sostanza secca, contenuto in zuccheri, ecc.) e delle condizioni operative (tab. 10).

Tabella 10 - Perdite di sostanze nutritive nell'insilamento e fattori che le causano (da: Zimmer, 1980).

Origine della perdita	Classificazione	Perdite (%)	Cause
Respirazione residua	inevitabile	1-2	enzimi della pianta
Fermentazione (lattica)	inevitabile	2-4	microrganismi
Colature	alternativo	3>7	insufficiente contenuto di sostanza secca
Perdite in campo per appassimento	inevitabile	4>6	condizioni meteorologiche, coltura, tecnica
Fermentazione secondaria (butirrica)	evitabile	0>5	contenuto di sostanza secca, ambiente del silo
Deterioramento aerobico durante la conservazione	evitabile	0>10	durata riempimento, densità, tipo di silo
Deterioramento aerobico al desilamento	evitabile	0>15	contenuto di sostanza secca, tipo di scarico, stagione
Totale		7>40	

Anche dopo accurata compressione la massa di foraggio trattiene sempre aria al suo interno, il cui ossigeno è utilizzato dalle cellule vegetali (ancora vive); questa respirazione residua è utile perché crea nel silo condizioni di anaerobiosi. Le conseguenti perdite di glucidi sono ridotte, a condizione che il riempimento e la chiusura del silo avvengano nel più breve tempo possibile. Anche le perdite dovute alla fermentazione lattica sono limitate e interessano soprattutto la sostanza secca (più che l'energia) con formazione di acido acetico, alcoli e sviluppo di CO₂.

Le fermentazioni secondarie (soprattutto quella butirrica) avvengono solo quando l'abbassamento del pH è lento e/o non protratto fino alla stabilizzazione dell'insilato. Questo può verificarsi per diversi motivi:

- elevata acquosità del foraggio (carenza di substrato fermentescibile);
- difettosa tenuta all'aria del silo;
- forte inquinamento di terra.

Particolarmente soggette a deterioramento sono le parti esterne del silo (fig. 44) dove il compattamento è carente e, pertanto, è più facile l'infiltrazione di ossigeno (si può arrivare ad ammuffimento e putrefazione).

Quando la massa non è stata sufficientemente compressa si può avere una lenta permeazione dell'aria che mantiene attivi i microrganismi aerobi (batteri aerobi, funghi e lieviti) presenti fin dall'inizio dell'insilamento.

All'apertura del silo si ha un rapido deterioramento aerobico con innalzamento della temperatura, mentre durante l'utilizzazione l'abbondanza di aria favorisce lo sviluppo di muffe sul fronte di desilamento (sono state individuate alcune decine di specie di muffe); il tipo di foraggio e la durata della conservazione determinano la frequenza e l'entità del loro sviluppo. La stabilità aerobia del fronte aperto è maggiore negli insilati di leguminose

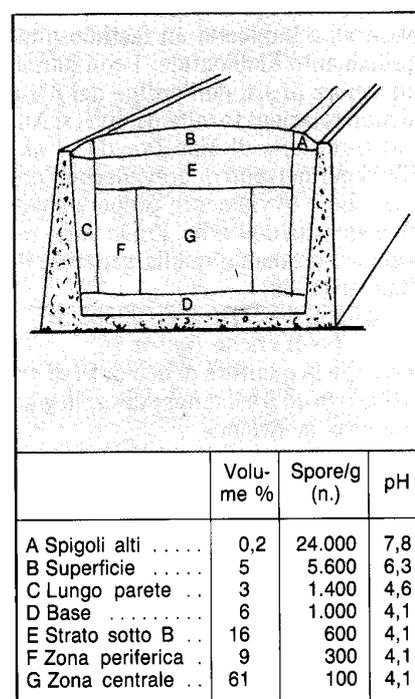


Figura 44 - Contenuto di spore clostridiche e valori di pH rilevati in diverse zone della sezione trasversale di insilati in trincea (da: Carrot, 1986).

che in quelli di mais: questo sembra dipendere dalla presenza di alcuni composti chimici che si formano durante i processi microbici dell'insilamento, piuttosto che da caratteristiche dell'erba.

In alcuni casi nell'insilato sono presenti micotossine come lo zearalenone (o F₂), prodotto dalla *Gibberella zeae* (f.p. del *Fusarium graminearum*), che causa infertilità nelle bovine, e la patulina, prodotta da *Byssochlamys nivea*, che provoca vomito, arresto della ruminazione, inappetenza e, quindi, dimagrimento.

Tra le perdite deve essere annoverata anche la colatura che, come detto in precedenza, può portare a una forte diminuzione di sostanze solubili di pregio (zuccheri, acidi organici, amminoacidi, sali minerali).

In diversi casi le perdite sono inevitabili (respirazione residua, fermentazione lattica, perdite in campo in caso di preappassimento); tuttavia, quando si pone in atto una razionale tecnica di insilamento, queste possono essere contenute entro la quota inevitabile del 10%, circa, per l'erba e il 5-6% per il mais ceroso. Perdite superiori sono, quasi sempre, imputabili a cattiva organizzazione e/o imperfetta esecuzione dell'insilamento, quindi riconducibili entro la norma razionalizzando le operazioni.

PER APPROFONDIMENTI

CEMAGREF, 1995. Collection FORMAGRI. *Les matériaux de recolte des fourrages, ensilage et distribution*. Coédition Institut de l'élevage, Cemagref, Lavoisier-Tec et Doc. 395 p.

Ciotti A., 1992. *Raccolta e conservazione dei foraggi prativi, fienagione e insilamento*. L'Informatore agrario, suppl. al n. 23:5-50.

Horrocks R. D., Vallentine J. F., 1999. *Harvested Forages*. San Diego California.: Academic Press. 426 p.

Perin G., Dassie N., 1982. *Sili e insilati - Tecnologie, procedure e impieghi degli insilati per l'alimentazione animale*. Bologna: Edagricole. 134 p.

Raymond F., Shepperson G., Waltham R., 1982. *Forage Conservation and Feeding*. Ipswich, Suff.: Farming Press limited. 208 p.

Vanbelle M., Arnould R., Deswysen A., Moreau I., 1992. *L'insilamento, un problema d'attualità*. Bologna: Edagricole – Edizioni agricole. 95 p.