



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI AGRONOMIA, ANIMALI, ALIMENTI,
RISORSE NATURALI E AMBIENTE

CORSO DI LAUREA IN SCIENZE E TECNOLOGIE
AGRARIE

**Confronto tra metodi di conservazione
dell'erba medica in funzione della qualità
del foraggio**

Relatore

Ch.mo Prof. Stefano Macolino

Laureando

Marco Reffo

Matricola n.

2000012

ANNO ACCADEMICO 2024 - 2025

*“Ai miei nonni,
fonte d’ispirazione e saggezza,
per avermi trasmesso la passione per la terra”*

Indice

Abstract	2
Introduzione	3
Capitolo 1 L'erba medica	4
1.1 Caratteri generali.....	4
1.2 Origine e diffusione.....	4
1.3 Caratteristiche agronomiche, botaniche ed ecologiche	5
Capitolo 2 Metodi di conservazione	9
2.1 Introduzione	9
2.2 Alterazioni e perdite a carico del foraggio	10
2.2.1 Perdite per respirazione cellulare	10
2.2.2 Perdite per lisciviazione e riumificazione	11
2.2.3 Perdite per respirazione microbica	12
2.2.4 Perdite meccaniche.....	12
2.3 Completa essiccazione in campo	14
2.4 Fienagione in due tempi.....	16
2.4.1 Essiccazione artificiale del foraggio sfuso	16
2.4.2: Essiccazione del foraggio compresso	20
2.4.3: Disidratazione	23
2.4.4 Insilamento	27
Capitolo 3 Analisi e confronto dei metodi di conservazione	30
Conclusioni	36
Bibliografia	38
Sitografia	40

Abstract

L'erba medica (*Medicago* spp.) rappresenta una coltura foraggera di primaria importanza nell'alimentazione animale, grazie alle sue eccezionali proprietà nutritive. Il presente lavoro si propone di analizzare le caratteristiche generali e le tecniche di conservazione dell'erba medica, attualmente disponibili, e di effettuare un confronto tra i metodi esistenti, al fine di ottimizzare la qualità del foraggio e minimizzare le perdite.

Nel primo capitolo vengono quindi esaminati gli aspetti generali della pianta, quali: le origini, la diffusione e le principali caratteristiche agronomiche, botaniche ed ecologiche. Il secondo capitolo è invece dedicato all'esame delle diverse metodologie di conservazione, in particolare: l'essiccazione in campo, la fienagione in due tempi, l'essiccazione artificiale, la disidratazione e l'insilamento. Il terzo capitolo si focalizza su un'analisi comparativa dei metodi di conservazione, valutando parametri chiave quali la qualità del foraggio, le perdite quantitative e i costi di gestione.

Le conclusioni evidenziano l'importanza di selezionare il metodo di conservazione più idoneo alle esigenze specifiche delle aziende agricole, in relazione alle risorse disponibili, e sottolineano la necessità di adottare tecnologie sostenibili per ridurre i consumi energetici.

Introduzione

L'erba medica (*Medicago* spp.) è una pianta foraggera poliennale di fondamentale importanza per l'agricoltura a livello mondiale. Nota come la "regina delle foraggere" per le sue straordinarie proprietà nutritive, l'erba medica è una fonte essenziale di proteine, vitamine e minerali, particolarmente indicata per l'alimentazione dei ruminanti. Grazie al suo elevato contenuto proteico e alla sua alta digeribilità, questa coltura contribuisce in modo significativo alla produzione di latte e carne di alta qualità, sostenendo la redditività e la sostenibilità delle aziende agricole.

La tesi in questione si propone di esplorare i vari aspetti legati alla coltivazione, conservazione e utilizzo dell'erba medica, con l'obiettivo di fornire una panoramica completa delle tecniche e dei metodi che possono essere adottati per massimizzare la qualità del foraggio e ridurre le perdite. Nella prima parte del lavoro, vengono analizzati i caratteri generali dell'erba medica, le sue origini e diffusione, nonché le sue caratteristiche agronomiche, botaniche ed ecologiche. Viene inoltre esaminata l'importanza ecologica di questa pianta e il suo ruolo nella sostenibilità ambientale. La seconda parte della tesi si concentra sui metodi di conservazione dell'erba medica, affrontando le diverse tecniche utilizzate per preservare le sue proprietà nutritive nel tempo. Vengono analizzati in dettaglio i metodi di essiccazione tradizionale, la fienagione in due tempi, la ventilazione, la disidratazione e l'insilamento, mettendo in evidenza i vantaggi e gli svantaggi di ciascuno. Un confronto tra i vari metodi viene effettuato sulla base di parametri quali la qualità del foraggio, le perdite quantitative, i costi di gestione.

Infine, la tesi si conclude con una sintesi dei risultati ottenuti e una riflessione sulle implicazioni pratiche delle diverse tecniche di conservazione, offrendo spunti per future ricerche e innovazioni nel settore agricolo. L'obiettivo finale è fornire agli agricoltori e agli operatori del settore strumenti utili per migliorare la gestione dell'erba medica, contribuendo così alla sostenibilità e alla competitività delle aziende agricole.

Capitolo 1

L'erba medica

1.1 Caratteri generali

L'erba medica è una pianta poliennale coltivata in tutto il mondo, impiegata soprattutto per ottenere foraggi di alta qualità, e per questo è considerata la regina delle foraggere (BENVENUTI, 2021). Il foraggio proveniente dall'erba medica alla base della razione alimentare delle vacche da latte (PLANTGEST), visto il suo importante contenuto di proteine, vitamine e calcio, e per la minore presenza rispetto ad altre foraggere di fibre maggiormente digeribili (Tab. 1.1). La resa annuale può raggiungere le 16-18 tonnellate di sostanza secca per ettaro (RIMI, et al., 2010), con un valore energetico medio-basso intorno a 0,5-0,6 unità foraggere (UF) per chilogrammo di sostanza secca.

Tabella 1.1 – Comparazione della composizione (% sulla sostanza secca) tra erba medica e altra foraggera poacea generica.

Composizione	Erba medica	Poacea
	%	%
Proteina	17	9,8
Digeribilità	58	49
Fibra acido digerente	35	38
Fibra neutro digerente	46	77
Calcio	1.41	0.53
Fosforo	0.24	0.21
Valore nutrizionale	124,6	71,6

1.2 Origine e diffusione

Secondo alcuni autori, l'erba medica potrebbe essere stata coltivata dall'uomo fin dalla preistoria (BENVENUTI, 2021). Altri ritengono che sia originaria della regione del Medio Oriente, con le prime testimonianze che risalgono a circa il 7000 a.C.

(PLANTGEST). Da qui si espanse nella regione del Mediterraneo; infatti, come affermato da Plinio, fu portata in Grecia dai Persiani intorno al 492-490 a.C. (MACOLINO, 2019) e successivamente raggiunse l'Italia per mezzo dei Romani (BENVENUTI, 2021) nel periodo compreso tra il 200 a.C. ed il 150 a.C. e grazie a loro, si espanse in parte d'Europa (MACOLINO, 2019). Già nel 37 a.C. le proprietà benefiche dell'erba medica erano ben descritte nel "De re rustica" di Varrone: <<La migliore foraggera è l'erba medica, primo perché seminata una volta dura dieci anni, poi perché ogni anno si sfalcia quattro volte ed anche sei, perché ingrassa il campo. Perché anche l'armento più patito si rimette mangiandola, perché è un ottimo rimedio per il bestiame malato, perché un solo iugero di erba medica basta ed avanza per nutrire tre cavalli per tutto un anno>> (PLANTGEST). Durante il Medioevo, la sua diffusione diminuì considerevolmente, ma riprese grazie agli Arabi, che nell'VIII secolo la portarono in Spagna, rendendo questo paese il fulcro della sua successiva espansione nel resto d'Europa e nel mondo (MACOLINO, 2019).

Nel 2022 è stata coltivata su circa 35 milioni di ettari nel mondo, dei quali circa 2 milioni in Europa. Il principale produttore europeo è l'Italia, con 685 mila ettari (ISTAT, 2022), dai quali ottiene una produzione di 167 milioni di quintali (PALMIERI, 2023).

1.3 Caratteristiche agronomiche, botaniche ed ecologiche

Quando si parla di erba medica, ci si riferisce principalmente a specie botaniche diverse, originatesi nel corso della sua espansione globale: 1. *Medicago sativa* L. (Fig.3.1), nota per i suoi fiori di colore viola (BENVENUTI, 2021; MACOLINO, 2019), è diffusa negli ambienti mediterranei, non è sensibile al fotoperiodo ma teme riduzioni repentine di temperatura; 2. *Medicago falcata* L. (MACOLINO, 2019), a fiori gialli (BENVENUTI, 2021; MACOLINO, 2019) presente nelle regioni del Nord ed Est Europa, longidiurna e resistente al freddo. Sono inoltre presenti specie ibride derivanti dalla combinazione di queste, note come *Medicago media* Pers., tipiche dell'Europa centro-settentrionale e delle aree costiere atlantiche degli Stati Uniti e del Sudafrica (MACOLINO, 2019).



Figura 1.1 – *Medicago sativa* allo stadio di inizio fioritura (max8xam / FREEPIK).

L'erba medica svolge un ruolo ecologico significativo, poiché è considerata una coltura miglioratrice. Questo perché instaura una simbiosi con il battere *Rhizobium meliloti*, che è in grado di fissare l'azoto atmosferico nel suolo, rendendolo immediatamente disponibile per le piante. *Medicago sativa* con il suo apparato radicale fittonante molto profondo, diverso da *Medicago falcata* che lo ha più superficiale e ramificato, riesce ad esplorare gli strati inferiori del terreno, migliorandone la porosità. Entrambe le specie trattengono gli elementi nutritivi, evitando l'azione di lisciviazione. L'erba medica impedisce inoltre l'erosione causata dall'acqua e dal vento, fornendo una copertura protettiva al terreno per tutta la durata del ciclo di coltivazione. Per di più migliora il contenuto di sostanza organica, portando allo sviluppo di un ambiente edafico migliore. Per queste ragioni, nell'avvicendamento classico, l'erba medica viene seminata dopo una coltura depauperante e prima di una coltura da rinnovo. Si adatta molto bene a condizioni pedoclimatiche diverse, ma raggiunge la sua massima produttività in terreni franchi o argillosi, con pH compreso tra 6,5 ed 8, ricchi di calcare e potassio (BENVENUTI, 2021). È inoltre una pianta mellifera, gradita a numerose specie di api selvatiche (EAPF, 2023).

Per quanto riguarda l'inquadramento sistematico, l'erba medica appartiene all'ordine delle *Rosales*, alla famiglia delle *Fabaceae* o *Leguminosae*, alla tribù delle *Trifoliae* e al genere *Medicago*.

Di seguito vengono illustrate le principali caratteristiche della pianta. L'apparato radicale principale, come descritto precedentemente, differisce tra i tipi mediterranei e i tipi nord-europei. Nei primi è formato da un solo fittone molto robusto capace di esplorare diversi metri in profondità. È invece ramificato e superficiale negli altri. Al di sopra delle radici si trova la corona, composta dalle parti inferiori degli steli. Al di sopra delle radici, a livello del terreno, verrà a formarsi la corona, un'area dove si differenziano le gemme, dalle quali si originano gli steli e dove la pianta immagazzina le sostanze di riserva (BENVENUTI, 2021). Gli steli, eretti e ramificati, superano il metro di altezza e possono essere cavi, nella *Medicago sativa*, o pieni nella *Medicago falcata*. Le foglie trifogliate sono disposte in modo alterno sul ramo, con fogliolina mediana inserita su un picciolo più lungo di quello delle due laterali. Le foglioline di forma oblunga hanno il margine prossimo all'apice seghettato e terminano con un mucrone, formato da un prolungamento della nervatura centrale. Le stipole presenti alla base del picciolo sono rastremate e con margine dentato. I fiori sono raggruppati in racemi semplici. Questi racemi sono allungati e con fiori di colore azzurro-violetti in *Medicago sativa* (Fig. 1.2), mentre sono corti e compatti, con fiori gialli in *Medicago falcata* (Fig. 1.3). Essi sono sostenuti da lunghi peduncoli che emergono dall'ascella di una foglia sul fusto. Il frutto (Fig. 1.4) è un legume che si avvolge a spirale per 2-4 volte (*Medicago sativa*) o assume la forma di una falce (*Medicago falcata*), che si apre a maturità per liberare i semi. Questi hanno una forma reniforme e un colore giallo-olivastro tendente al bruno. Il peso di 1000 semi oscilla tra 1,8 e 2,2 grammi (MACOLINO, 2019).



Figura 1.2 – Infiorescenza di *Medicago sativa* (BENVENUTI, 2021).



Figura 1.3 – Infiorescenza di *Medicago falcata* (BELLEPIANTE.IT).



Figura 1.4 – Frutti di erba medica (BENVENUTI, 2021).

Capitolo 2

Metodi di conservazione

2.1 Introduzione

Le esigenze alimentari degli animali, quali bovini, equini, suini, ovini, camelidi, caprini, cunicoli, ed avicoli, sono costanti tutto l'anno, ma la produzione di foraggi non è continua (BLINI, 2023; AZIENDE AGRICOLE FORTE, 2023). La raccolta dell'erba medica avviene prevalentemente in primavera e in estate e, in questo periodo, occorre creare scorte affinché si possa realizzare un razionamento costante per gli animali, durante tutto l'anno (CIRICIOFOLO e ONOFRI, 2005; MAS SEED ITALIA, 2024). Il foraggio viene conservato creando condizioni che ostacolano i fenomeni di degradazione che colpiscono la materia organica, attraverso metodi che si dividono in due principali categorie: 1. Quelli basati sul principio fisico, che prevedono l'asportazione dell'acqua libera contenuta nel foraggio e includono: l'essiccazione in campo (fienagione), la fienagione in due tempi e la disidratazione; 2. Quelli chimico-biologici, che si basano sull'insilamento ottenuto tramite lo sviluppo di fermentazioni anaerobiche che portano all'acidificazione dell'acqua libera. In tutti i casi, attraverso le pratiche di fienagione, in parte svolte in campo, per ridurre il contenuto d'acqua prima dei trattamenti successivi, e in parte in azienda, si riesce a rendere conservabile un foraggio fibroso. Tale processo però porta ad alterazioni negative dal punto di vista qualitativo e a perdite quantitative, ma esistono strategie che consentono di preservare il foraggio in misura maggiore, producendo un alimento adeguato anche alle bovine più performanti. Produrre un fieno di qualità è possibile; richiede grande attenzione in tutte le fasi di coltivazione e la disponibilità di una linea di macchine performante ed il più adeguata possibile a preservare le caratteristiche del foraggio. La fienagione <<è l'unico processo agricolo di trasformazione che avviene sul campo>> e per questo è soggetto alle variazioni meteorologiche. Il modo migliore per evitare il rischio di pioggia è abbreviare la permanenza in campo del foraggio e ciò è possibile adottando strategie precise che iniziano con il taglio, abbinato al condizionamento, e proseguono in base alla scelta del metodo di conservazione del foraggio. Affinché vengano preservate quantità e

caratteristiche nutrizionali dell'erba medica date al momento taglio, è ragionevole implementare una linea di macchine ed impianti capaci di mantenere tali caratteristiche (BENVENUTI, 2021).

2.2 Alterazioni e perdite a carico del foraggio

Durante i vari processi di essiccazione, il foraggio è soggetto a reazioni biologiche, chimiche e fisiche che ne diminuiscono sia la qualità che la quantità e di conseguenza diminuisce il numero di unità foraggere prodotte. Questi processi includono la respirazione cellulare, la lisciviazione e la riумidificazione del foraggio causate dalla pioggia, l'attività microbica a carico del foraggio, ed il contatto con gli attrezzi meccanici che provoca la formazione di frammenti, che, non potendo essere raccolti rimangono al suolo. Una conservazione inadeguata, inoltre, porta alla compromissione della salubrità del foraggio dovuta alla presenza di spore fungine e batteriche, oltre alle micotossine. Nel processo di essiccazione del fieno, l'entità delle perdite è influenzata dalla qualità iniziale del foraggio, che dipende dallo stadio vegetativo in cui viene effettuato il taglio e dalla composizione delle piante. Condizionano molto inoltre, le condizioni climatiche, la durata delle fasi di essiccazione e la persistenza di condizioni di umidità. Infine, riveste grande importanza il modo in cui viene movimentato il foraggio durante le operazioni in campo e di raccolta e quale tecnica viene adottata per la conservazione (BENVENUTI, 2021).

2.2.1 Perdite per respirazione cellulare

Dopo il taglio della pianta, il metabolismo degli organi vegetali continua per un certo periodo. Durante questa fase, prevale il metabolismo catabolico, il quale si manifesta principalmente attraverso l'attività respiratoria dei tessuti vegetali. Questo fenomeno è più intenso nelle prime ore dopo il taglio e diminuisce man mano che il foraggio si essicca, fino a che non raggiunge un contenuto di sostanza secca del 60-70%, poi le perdite diventano trascurabili. Nel corso della respirazione, vanno in contro a degradazione sia gli zuccheri solubili, che rappresentano la sostanza organica digeribile, sia le proteine, queste ultime fino a che il foraggio ha un'umidità

intorno al 55%. La respirazione è più intensa quanto più elevati sono l'umidità del prodotto e la temperatura ambientale (Fig. 2.1). Occorre quindi accelerare l'evaporazione subito dopo il taglio. Le perdite di sostanza secca dovute esclusivamente alla respirazione si aggirano intorno al 5% quando le condizioni favoriscono un'evaporazione rapida. Tuttavia, queste perdite quantitative possono aumentare fino all'8-10% se l'umidità dell'aria è elevata. Questo fenomeno, porta inoltre ad una diminuzione della qualità, influenzando negativamente la digeribilità ed il valore energetico del foraggio (BENVENUTI, 2021).

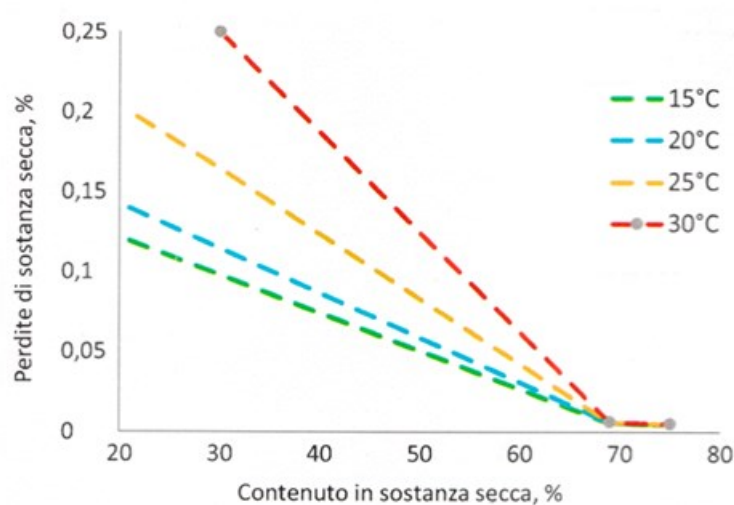


Figura 2.1 – Perdite di sostanza secca orarie, date dalla respirazione cellulare, in funzione della temperatura e del contenuto di sostanza secca del foraggio (BENVENUTI, 2021).

2.1.2 Perdite per lisciviazione e riumificazione

La lisciviazione si verifica quando la pioggia bagna il foraggio durante l'essiccazione, portando via con sé i sali minerali e i nutrienti solubili come zuccheri semplici, acidi organici, composti azotati semplici e polisaccaridi presenti nella pianta. Le perdite dovute a questo fenomeno dipendono dal livello di essiccazione del foraggio, dal tipo di lavorazioni svolte e dalle caratteristiche dell'evento piovoso, come l'intensità e la durata della pioggia. Alcuni studi riportano che precipitazioni di 20-30 millimetri, con foraggio al 70% di umidità, portano ad una perdita del 2-3% in termini di sostanza secca.

Oltre alle perdite per lisciviazione, la pioggia interrompe il processo di evaporazione, provocando la riumentificazione del foraggio, che può portare a perdite anche del 20% in foraggi con contenuto di sostanza secca inferiore al 60%, in cui l'attività metabolica è ancora particolarmente attiva (BENVENUTI, 2021).

2.1.3 Perdite per respirazione microbica

La respirazione microbica diviene evidente quando il foraggio accumulato o imballato, presenta un contenuto di umidità superiore al 18-20%, manifestandosi attraverso un aumento della temperatura. Questo processo è effettuato da batteri aerobi o aerobi facoltativi ed avviene in presenza di ossigeno ed acqua libera e porta alla produzione di calore derivante dall'ossidazione della frazione digeribile del foraggio. Quando il foraggio viene messo in cumulo o imballato, aumenta la propria massa volumica, riducendo la quantità d'aria presente al suo interno, portando ad una conseguente diminuzione della permeabilità e rallentando il ricambio d'aria. Ciò fa sì, che il calore generato dalla respirazione ristagni nella massa, incrementando la temperatura e a sua volta l'attività microbica. Con un contenuto di umidità pari al 25% la temperatura all'interno del cumulo può raggiungere i 60°C, con perdite in termini di sostanza secca che si aggirano tra il 5 e l'8%. Questo fenomeno può portare al raggiungimento di temperature elevate, 80°C con foraggio al 30% di umidità, e in particolari condizioni si può innescare l'autocombustione. Si hanno inoltre perdite qualitative, in quanto l'incremento della temperatura nei foraggi promuove la denaturazione delle proteine e la reazione tra zuccheri ed amminoacidi porta alla formazione di sostanze indigeribili e ad un imbrunimento del fieno. L'attività microbica porta quindi ad una riduzione del contenuto di energia del foraggio, con rilascio di cataboliti dannosi per la salute degli animali e che portano alla formazione di tossine (BENVENUTI, 2021).

2.1.4 Perdite meccaniche

Durante tutte le operazioni della fienagione, il contatto tra il foraggio e l'organo meccanico provoca il distacco di porzioni di pianta, creando frammenti, difficili da raccogliere dal terreno. Per questo si hanno perdite quantitative e

qualitative, che raggiungono valori più elevati in caso di completa essiccazione in campo, in particolare se si tratta di erba medica. Le perdite prodotte dai mezzi meccanici variano inoltre in base all'umidità del foraggio (Fig. 2.2), poiché se ha un contenuto importante d'acqua resiste maggiormente allo sbriciolamento, essendo più elastico. Le foglie di erba medica perdono con maggior velocità l'acqua rispetto agli steli, raggiungendo in breve tempo lo stato fisico che le rende molto fragili. Infatti, il contatto con le attrezzature di rivoltamento, andatura e raccolta portano al loro distaccamento e sbriciolamento, raggiungendo perdite in sostanza secca che possono raggiungere il 30%. In questo caso si assiste anche ad un calo della qualità dato che le foglie presentano un valore nutrizionale in termini di contenuto proteina e di energia, più elevato rispetto allo stelo. Le perdite sono dunque proporzionali al numero di interventi meccanici e aumentano con un'errata regolazione delle attrezzature. Sono molto elevate quando si adotta la completa essiccazione del foraggio in campo e aumentano a loro volta con condizioni meteorologiche sfavorevoli al processo di fienagione (BENVENUTI, 2021).

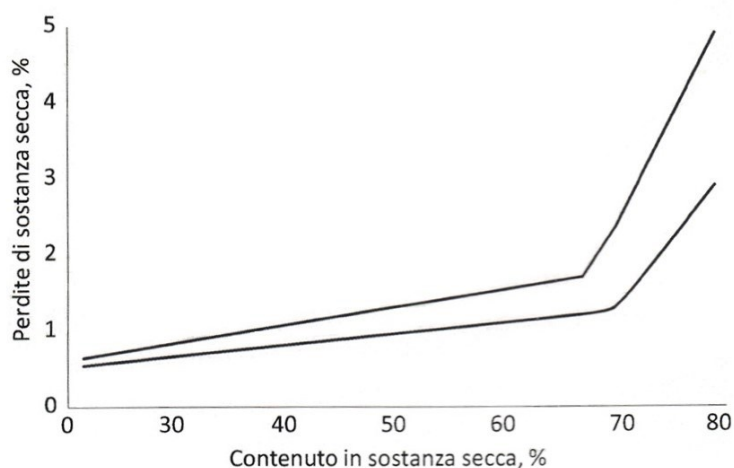


Figura 2.2 – Perdite causate dal contatto con organi meccanici per ciascun intervento (BENVENUTI, 2021).

2.3 Completa essiccazione in campo

La fienagione tradizionale comporta la completa essiccazione del foraggio sul campo, fino al raggiungimento di un valore di umidità tale da limitare i fenomeni degenerativi per opera dei microrganismi, i quali portano ad un innalzamento della temperatura del foraggio, quando viene compresso o stivato. Tuttavia, raggiungere una completa essiccazione non è semplice, poiché l'ultima quantità d'acqua presente nel foraggio è trattenuta con grande intensità, rendendo difficile la sua rimozione. Nella fase conclusiva, infatti, l'evaporazione è influenzata non solo dalle condizioni termo-igrometriche dell'aria ma anche dall'interazione tra queste ultime ed il foraggio.

Per una rapida eliminazione dell'acqua presente, sono necessarie condizioni meteorologiche favorevoli, contraddistinte da una forte esposizione solare e da livello di umidità relativa molto bassi. Possono verificarsi situazioni in cui nonostante il bel tempo, l'aria abbia un elevato contenuto d'umidità, portando ad un equilibrio igroscopico. In questa condizione il foraggio, non perdendo importanti quantità necessita di permanere sul campo per un maggior periodo, incrementando il numero di operazioni di spargimento e rivoltamento, che causano perdite per frammentazione e aumentando l'esposizione ad eventi piovosi. Il rischio di insorgere in precipitazioni durante l'essiccazione del foraggio in campo è l'aspetto che più mette in evidenza i limiti di questo metodo di gestione del foraggio, poiché può vanificare completamente il lavoro svolto. Il persistere di condizioni climatiche sfavorevoli ad una corretta evaporazione dell'acqua e l'avvicinarsi di una possibile perturbazione, porta l'agricoltore ad una frequente raccolta di un foraggio non completamente essiccato, con contenuto d'acqua maggiore del 20%. L'umidità ancora contenuta al suo interno verrà ceduta all'aria durante la conservazione, facendo sì che il foraggio raggiunga uno stato di stabilità dinamica, con valori di umidità che variano tra il 12% ed il 14%. Per raggiungere questi valori, devono evaporare grandi quantità d'acqua, ovvero tra 3,86 e 5,59 kg di acqua per ogni kg di sostanza secca di foraggio, a seconda che l'umidità allo sfalcio sia rispettivamente dell'80 o 85%. Suddividendo un ideale processo di essiccazione in tre fasi, entrambe caratterizzate da una stessa "quantità di bel tempo" si può supporre che nella prima

fase evapori circa il 55-60% dell'acqua, nella seconda fase se ne disperde il 25-30% e, nella terza fase poco più del 10%, con la restante parte che evapora durante lo stoccaggio. Nella fase finale, la perdita d'acqua al minuto è stimata in 0,2-0,5 grammi d'acqua evaporati per chilogrammo di sostanza secca, ed è di circa 8-10 volte minore rispetto all'intensità d'evaporazione iniziale e 3-5 volte inferiore di quella intermedia (Fig. 2.3).

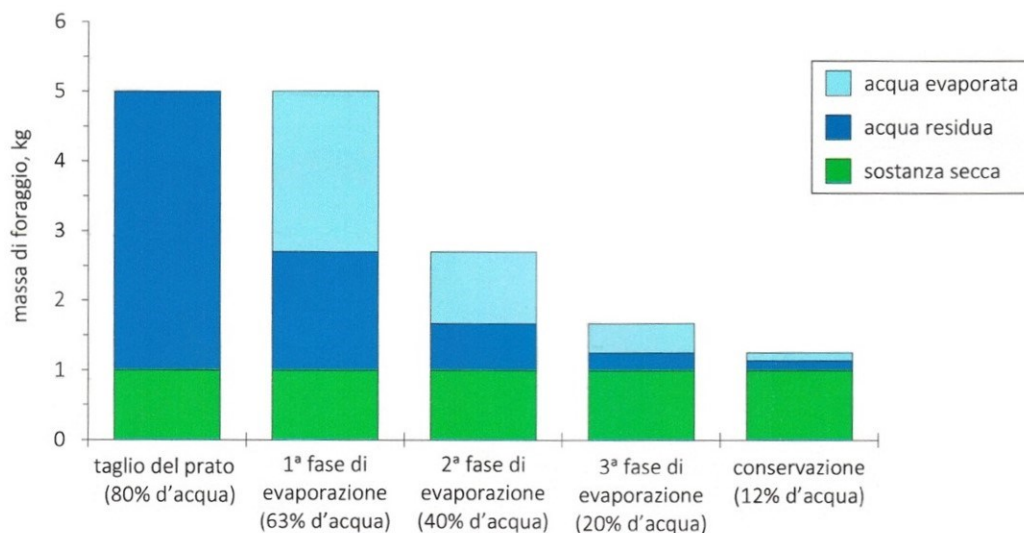


Figura 2.3 – Semplificazione ideale del processo di essiccazione di un foraggio in campo (BENVENUTI, 2021).

È buona pratica attendere l'evaporazione dell'ultima frazione d'acqua prima di mettere il foraggio in fienile. Prima di farlo è inoltre consigliato, eseguire un controllo della temperatura. È possibile verificarlo anche a qualche ora dalla pressatura e se si riscontrano temperature interne superiori a quella ambientale significa che la completa essiccazione non è avvenuta, in quanto è presente attività da parte dei microrganismi. Se il foraggio è stato imballato ad umidità minore del 20-22%, dopo qualche ora la temperatura inizierà a calare ed il foraggio potrà dirsi stabilizzato. È inoltre opportuno, nel momento dello stivaggio, disporre le balle su pallet o grigliati in modo da favorire il passaggio d'aria andando a creare una sorta di camino, in modo da favorire l'esodo dell'aria calda (BENVENUTI, 2021).

2.4 Fienagione in due tempi

La fienagione in due tempi vede lo svolgimento della parte finale dell'essiccazione in impianti specifici, i quali, attraverso il convogliamento dell'aria verso la massa di foraggio, sottraggono l'acqua rimanente e accelerano il processo di evaporazione nelle fasi finali. Prima di raggiungere questi impianti il foraggio va incontro ad una parziale essiccazione in campo, fino al raggiungimento di un contenuto di umidità adatto ad essere processato nell'impianto ed in base al costo di produzione dell'energia termica. Nella fienagione in due tempi, quindi, la raccolta del foraggio può avvenire anche con valori di umidità intorno al 55%, riducendo la permanenza in campo fino al 60% del tempo ed eliminando artificialmente solo il 15% dell'acqua totale che deve evaporare (BENVENUTI, 2021). Il fieno prodotto attraverso la fienagione in due tempi è di qualità superiore grazie a diversi fattori: aumentano le opportunità per completare la fienagione svolgendo il taglio nella fase fenologica più adatta; in campo si lavora su un foraggio più flessibile e meno soggetto a frantumazione; si riduce significativamente il rischio di pioggia; Inoltre, si evitano i problemi legati all'attività microbica durante la conservazione. Di conseguenza, si ottiene un foraggio pregevole sia dal punto di vista nutrizionale che della salubrità (DAL PRÀ, et al., 2017).

2.4.1 Essiccazione artificiale del foraggio sfuso

Gli impianti per l'essiccazione del foraggio sfuso trovano una sistemazione coerente prevalentemente nelle aziende zootecniche produttrici di foraggi situate nelle zone montane, poiché la modalità di esecuzione della fienagione tipica di queste aree si adattano meglio ad un sistema di questo tipo, in quanto la raccolta avviene con cassoni o rimorchi autocaricanti, che raccolgono il foraggio sciolto e lo trasferiscono direttamente nei pressi dell'impianto. Nonostante la gestione del foraggio sfuso sia più impegnativa rispetto al foraggio in rotoballe, anche aziende di pianura hanno cambiato modalità operativa e hanno adeguato le attrezzature per gestire il foraggio sfuso. Per l'essiccazione con questo tipo di impianto è opportuno raccogliere il foraggio con umidità compresa tra il 30 e 35%. Questi impianti, accessibili anche ad aziende medio-piccole, migliorano al pari di altre tipologie di impianto la qualità e

la quantità dei foraggi. L'impianto è costituito da una platea, suddivisa in celle, solitamente dimensionate sulla base della produttività del primo taglio, che viene separato dagli altri tagli per le sue caratteristiche nutrizionali diverse in modo da formulare correttamente le razioni per gli animali (BENVENUTI, 2021). È importante che le celle dell'impianto siano tutte di uguale dimensione, così da sfruttare lo stesso ventilatore e generatore di calore, che verranno spostati di cella in cella al termine del processo o, in alternativa è possibile utilizzare sistemi a canali che convogliano l'aria nella cella desiderata. La superficie di ogni cella essiccante sarebbe opportuno fosse inferiore ai 150 m² o, in celle di dimensioni maggiori, che il rapporto tra lunghezza e larghezza non superi 1,5, con il fine di garantire una distribuzione uniforme dell'aria durante l'essiccazione. L'impianto si sviluppa anche in altezza: alla base è presente il graticciato di ventilazione, una struttura reticolare che va a costituire la camera di ventilazione, sopra alla quale viene posizionato il cumulo di foraggio, che può raggiungere anche gli 8 metri di altezza. È necessario, inoltre, lo spazio per la movimentazione del materiale, che può avvenire per mezzo dell'aria, utilizzando un caricatore pneumatico, o attraverso mezzi meccanici, quali gru mobili. Se il riempimento delle celle avviene per mezzo dell'utilizzo del caricatore pneumatico, il foraggio che raggiunge l'azienda per mezzo del rimorchio autocaricante viene scaricato in un cassone dosatore (Fig. 2.4), costituito da un fondo con avanzamento a tappeto ed un elevatore, che confluiscono il materiale in un nastro trasportatore che convoglia il prodotto alla bocca del caricatore pneumatico.



Figura 2.4 - Il cassone dosatore può contenere circa 30 m³ di foraggio, in modo da non tenere occupato il cassone autocaricante per tutta la durata del caricamento in cella (NOIROMECC).

La capacità di lavoro del caricatore pneumatico varia tra le 8 e le 10 tonnellate/ora con foraggi con umidità intorno al 50% ed è azionato da un motore elettrico con potenze di 11-15 kW, riuscendo a trasportare il foraggio nelle tubazioni, in genere, per un massimo di 20 metri, le quali sono telescopiche, in modo da distribuire automaticamente ed omogeneamente il foraggio all'interno della cella di essiccazione (Fig. 2.5) (BENVENUTI, 2024).



Figura 2.5 - Distributore pneumatico telescopico (NOIROMECC).

Al momento del prelievo del materiale, se la cella, è stata realizzata con la base a livello terreno, è possibile accedervi direttamente con la fresa del carro unifeed o con attrezzature in grado di rimuovere il foraggio in blocchi (BENVENUTI, 2021). In altri casi, in cui non è previsto il caricatore pneumatico, il foraggio proveniente dal campo, viene scaricato direttamente al suolo dall'autocaricante in un punto in cui, una gru dotata di braccio telescopico e pinza, lo trasferisce all'interno delle celle. Queste gru ospitano l'operatore in cabina e si muovono nel fienile su rotaie (Fig. 2.6). Per questo motivo, sono spesso utilizzate per alimentare il bestiame trasferendo il foraggio dal fienile direttamente alla stalla (DAL PRÀ, et al., 2017). Questo sistema

necessita di una notevole area per il movimento ed è più costoso di quello analizzato in precedenza, seppur abbia una produttività al carico leggermente superiore.



Figura 2.6 - Movimentazione con gru telescopica su carroponete (NOIROMECC).

In questo tipo di impianto il caricamento del foraggio e la ventilazione avvengono in modo continuo. Idealmente, se presente materiale da essiccare e se le condizioni meteo lo consentono, ogni giorno, viene aggiunto in cima al cumulo, nella cella, un nuovo strato di foraggio, consentendo al flusso d'aria di attraversare strati con umidità crescente dal basso verso l'alto, favorendo così l'uscita d'aria, che tende ad avvicinarsi alla condizione di saturazione, andando a ridurre in questo modo, il consumo energetico (Fig.2.7). Si ha una condizione di bassa efficienza dell'impianto quando si opera nella fase conclusiva della cella, in cui si ha solo l'ultimo strato di foraggio da essiccare. Per ovviare a questo problema e per diminuire i tempi di ventilazione della cella risulta fondamentale affinché l'essiccazione possa terminare, riscaldare l'aria in entrata per mezzo di un generatore di calore. Con questa tipologia di impianto l'eliminazione dell'acqua dal foraggio dovrebbe essere ottenuta utilizzando grandi volumi d'aria, sfruttando fino all'80% del processo, la naturale capacità essiccante dell'atmosfera. Tuttavia, la capacità essiccante deve essere sempre incrementata mediante l'impiego di sistemi che ne prevedono il riscaldamento, più frequenti, o la sua deumidificazione. Per aumentare la temperatura dell'aria, di 6-10°C sono impiegati termoconvettori con bruciatore a

gasolio o gas, ma trovano una buona collocazione l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili. La più affidabile e conveniente è sfruttare la radiazione solare mediante captatori aria-aria installati su ricoveri o edifici aziendali. In questo modo si va a riscaldare l'aria e mediante dei collettori viene trasferita dal pannello al ventilatore. Conveniente è anche l'uso di caldaie a biomassa. Quando il collegamento alla linea elettrica è complesso e costoso, la cogenerazione può essere una soluzione valida, in quanto si va a sfruttare anche il calore prodotto dal motore, che determina innalzamenti di temperatura dell'aria variabili tra 0,5°C e 3°C a seconda della potenza installata, che portano ad una diminuzione del 4-5% dell'umidità relativa dell'aria, apportando un importante miglioramento al processo evaporativo (BENVENUTI, 2021).

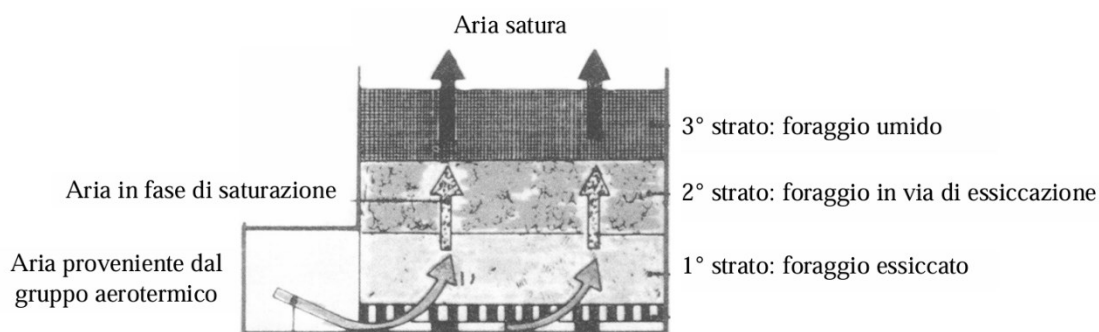


Fig. 2.7: Essiccazione degli strati di foraggio (Chiumenti, CRPA 1989).

2.4.2: Essiccazione del foraggio compresso

L'essiccazione del foraggio raccolto in rotoballe o balle prismatiche necessita di impianti specifici a carico discontinuo, che possono essere realizzati con camera di ventilazione in calcestruzzo o in lamiera, dotata di fori di ventilazione, sopra cui vengono posizionate le balle (Fig. 2.8). Solitamente gli impianti realizzati in calcestruzzo armato hanno la camera di ventilazione sotto il piano campagna per cui è possibile posizionare le balle con trattori, in quanto l'impianto è transitabile (BENVENUTI, 2021). In impianti di ventilazione a singolo flusso, possono essere impilate sopra al foro un massimo di tre rotoballe e, in sommità della pila, può essere posto un disco, spesso di cemento, che impedisce la fuoriuscita dell'aria dall'alto, in modo tale che attraversi le balle prima in senso ascensionale e poi radiale. Affinché l'aria circoli correttamente, è preferibile che la rotoballa sia effettuata con il centro

morbido, e con una densità di 150 kg per metro cubo, se si tratta di erba medica. Per quanto riguarda le balle prismatiche invece, non è necessario porre il coperchio sopra la palla, ma è opportuno diminuire la densità a 170 kg/m³ rispetto ai 240 kg/m³ per una raccolta di foraggio completamente essiccato in campo. Importante è che la raccolta del foraggio venga effettuata con contenuto d'umidità compreso tra il 30 e 35% (CIRICIOFOLO e ONOFRI, 2005).



Figura 2.8 - Platea per la ventilazione di balle cilindriche (AGRICOMPACT TECHNOLOGIES GMBH).

Negli impianti sopra descritti, la camera di ventilazione deve avere un'altezza minima di 40-50 cm al fine di garantire una corretta circolazione dell'aria. Quest'ultima, fuoriuscendo dai fori, attraversa le balle di foraggio, ma, si possono venire a creare vie preferenziali di uscita, attraverso le quali, l'aria scorre senza attraversare il foraggio, portando a importanti perdite di pressione. Per ridurre al minimo queste perdite occorre che il diametro del foro della camera di ventilazione sia più piccolo del 30-40 % rispetto al diametro della rotoballa, andando a migliorare la tenuta. Occorre dimensionare adeguatamente all'impianto il ventilatore centrifugo, che deve garantire una portata d'aria per ogni foro di ventilazione compresa tra 0,6 e 0,7 m³/s che si tramuta in un consumo di corrente elettrica che si aggira a 0,6-1,2 kW per foro. La portata d'aria del ventilatore ed il volume della camera di ventilazione devono essere correttamente dimensionati, in modo che il loro rapporto sia inferiore a 0,5. Al termine del processo, le balle essiccate vengono estratte dall'impianto ed è possibile fare un nuovo ciclo. La durata

del ciclo solitamente è inferiore alle 40 ore, ma dipende dalle condizioni di temperatura e umidità dell'aria. Questi tempi però possono ridursi notevolmente se si procede riscaldando l'aria di 5-10°C che comporta però un aumento dei consumi, rispettivamente tra i 4 e gli 8 kWh termici per rotoballa, in base alla temperatura. È quindi necessario regolare la ventilazione ma soprattutto l'utilizzo del generatore di calore con sistemi automatici (BENVENUTI, 2024).

Altri impianti strutturalmente simili, sfruttano il fatto che la capacità essiccante dell'aria viene notevolmente aumentata, portando ad una durata del processo di essiccazione intorno alle 12 ore. Perché ciò avvenga, sono necessari incrementi termici molto elevati, che richiedono elevati costi di gestione. Inoltre, il costo iniziale dell'impianto è importante. Gli incrementi termici possono essere maggiori di 30°C, purché il foraggio non raggiunga valori di temperatura superiori ai 55°C. Oltre, se la temperatura è mantenuta per diverse ore, il foraggio va incontro a denaturazione, andando ad alterare il valore nutritivo e la digeribilità. Si è visto che l'aria in ingresso a 45°C, con il 20% di umidità, che attraversa un foraggio molto umido, esce dall'impianto a 23-25°C con un valore di umidità relativa che si avvicina o raggiunge la saturazione. Nella fase finale del ciclo però, l'acqua che evapora è sempre minore e di conseguenza la temperatura dell'aria in uscita, diminuisce di pochi gradi. Proprio per questo deve essere controllata, regolando il generatore di calore, prestando particolare attenzione che l'aria in ingresso non superi i 50-55°C. Si nota quindi, che in questa fase si riduce notevolmente l'efficienza del sistema, in quanto una parte importante d'energia, impiegata nel riscaldare l'aria non è utilizzata per far evaporare l'acqua dal foraggio. Esistono impianti che recuperano il calore non utilizzato e lo trasferiscono all'aria in ingresso, tramite uno scambiatore, portando ad un aumento di efficienza dell'impianto. Questi impianti di essiccazione si adattano bene con foraggio raccolto ad un'umidità compresa tra il 30 ed il 45%, se necessario anche al 50%. Alcuni impianti vengono realizzati in lamiera e costituiti da una ventilazione a doppio flusso contrapposto (Fig. 2.9). In questo modo il foraggio riceve aria sia da sopra, che da sotto, portando ad un'essiccazione più uniforme e rapida. Per l'installazione non sono richiesti fabbricati che lo contengano, in quanto sono macchine che vengono appoggiate su una platea e sono dotate di copertura. L'impianto va dimensionato in base alla quantità di foraggio da essiccare del primo

taglio, tenendo conto che un modulo da 8 fori soddisfa superfici tra i 16 e i 20 ettari, ma tale valore può aumentare o diminuire a seconda della produttività, della disponibilità di energia e dalla volontà di eseguire cicli di essiccazione h24. Sono impianti di facile gestione, in quanto tramite il computer della macchina è possibile programmare la durata del ciclo ed i valori di umidità e temperatura dell'aria in ingresso (BENVENUTI, 2021).



Figura 2.9 - Impianto di essiccazione a doppia ventilazione (CLIM.AIR 50).

2.4.3: Disidratazione

La disidratazione è un metodo di essiccazione tipicamente italiano che si sviluppa in due fasi. La prima fase, di essiccazione in campo, in modo tale che l'umidità dell'erba medica sia ridotta fino al 30-50% e una seconda fase di lavorazione in impianto. Dal momento del conferimento del foraggio umido, passa relativamente un periodo molto breve all'ottenimento di un prodotto con un contenuto d'acqua di circa il 10%, eliminando qualsiasi rischio di fermentazione, senza utilizzare additivi chimici e preservando tutte le caratteristiche nutrizionali (PIGNAGNOLI, et al., 2023). Esistono impianti di disidratazione a bassa temperatura, che incrementano la temperatura dell'aria di meno di 100°C e impianti di disidratazione ad alta temperatura, in cui si possono raggiungere anche temperature di 800-900 °C. Negli impianti a bassa temperatura (Fig. 2.10) il foraggio viene introdotto costantemente e avanza su tappeti mobili, invece, negli impianti ad alta temperatura avanza all'interno di un cilindro rotante, dove vi resta per pochi minuti. La prima tipologia di impianto è alla portata di aziende agricole che si dedicano alla produzione di erba medica su

superfici di almeno 150-200 ettari, invece, gli impianti di disidratazione ad alta temperatura necessitano di un'organizzazione industriale, in quanto sono impianti che possono processare migliaia di tonnellate l'anno (GRUPPO CARLI, 2021; BENVENUTI, 2021).



Figura 2.10 - Impianto di disidratazione a bassa temperatura (SCOLARI).

Conferendo la materia prima in impianti di disidratazione, è possibile ottenere dai 4 ai 6 raccolti all'anno. Quando avviene lo sfalcio, il foraggio rimane in campo dalle 24 alle 72 ore, affinché raggiunga un contenuto d'acqua inferiore al 65%. La raccolta avviene mediante l'impiego di rimorchi autocaricanti con apparato di taglio o per mezzo di trince caricatori, ottenendo un prodotto con lunghezza che varia tra i 3 e i 10 cm (BENVENUTI, 2021; GUERRA, et al., 2017). Dal momento della raccolta in campo, al momento della disidratazione è necessario che passi il minor tempo possibile, soprattutto se il contenuto d'umidità è elevato. Il processo di essiccazione inizia con il caricamento del foraggio verde su una rampa a catena, dopo la quale è presente un dosatore, che permette un costante ingresso di materia prima all'interno dell'essiccoio rotante, in impianti ad alta temperatura (FORMIGONI, BONICELLI, 2017). Negli impianti a bassa temperatura invece, il dosatore pone il foraggio su un nastro trasportatore o tappeto mobile, che può avere lunghezza tra i 18 e i 26 metri e larghezza di 3-4 metri. In entrambi gli impianti il foraggio è distribuito in modo tale da ottenere un'essiccazione regolare, e rimane all'interno dell'impianto fino a che non raggiunge un contenuto d'umidità pari al 9-10% (BENVENUTI, 2021; GUERRA, et

al., 2017). Negli impianti di disidratazione a bassa temperatura, con portate di ventilazione di circa 20 m³s e generatori di calore proporzionali, è possibile evaporare 1500 kg di acqua all'ora. In queste condizioni, è possibile lavorare 5,3 t/h di foraggio che ha un contenuto di umidità del 40% (BENVENUTI, 2021). Dal il processo di disidratazione (Fig.2.11), è possibile ottenere due prodotti: 1. Foraggio essiccato, in balloni (Fig. 2.12), il quale va in contro ad un raffreddamento e ad una successiva pressatura; 2. Foraggio, in pellet (Fig. 2.13), che viene prodotto per compressione, attraverso filiere con diametri che vanno da 0,6 a 1,8 centimetri, raggiungendo temperature intorno ai 120°C. Successivamente il pellet viene raffreddato progressivamente per 20-25 minuti e portato ad un'umidità del 10-11%, adeguata ad una conservazione e uno stoccaggio, ottimali. Il foraggio pellettato, in uscita dai centri di lavorazione può essere utilizzato tal quale, per l'alimentazione di bovini ed equini, o può subire un ulteriore lavorazione. Può infatti essere polverizzato per ottenere farine per essere miscelate ad altri mangimi per ottenere razioni adatte a suini ed avicoli. Il foraggio commercializzato in balle è destinato direttamente all'alimentazione animale. L'azienda che si occupa della produzione di foraggi disidratati è direttamente responsabile dei processi di trasformazione, in quanto garantisce la salubrità dei prodotti immessi in commercio. Si pone dunque massima attenzione durante le fasi di lavorazione, in modo tale da evitare contaminazioni (GUERRA, et al, 2017). Gli impianti di lavorazione sono dotati di sistemi in grado di eliminare plastiche e metalli, e di setacci e separatori per la rimozione di sassi e terra (GRUPPO CARLI, 2021). Le partite di prodotto, inoltre, sono omogenee perché vengono spesso eseguiti campioni di materia prima e prodotto finito ed analizzati in modo tale da offrire una qualità costante nell'anno (PIGNAGNOLI, et al., 2023; GRUPPO CARLI, 2021).

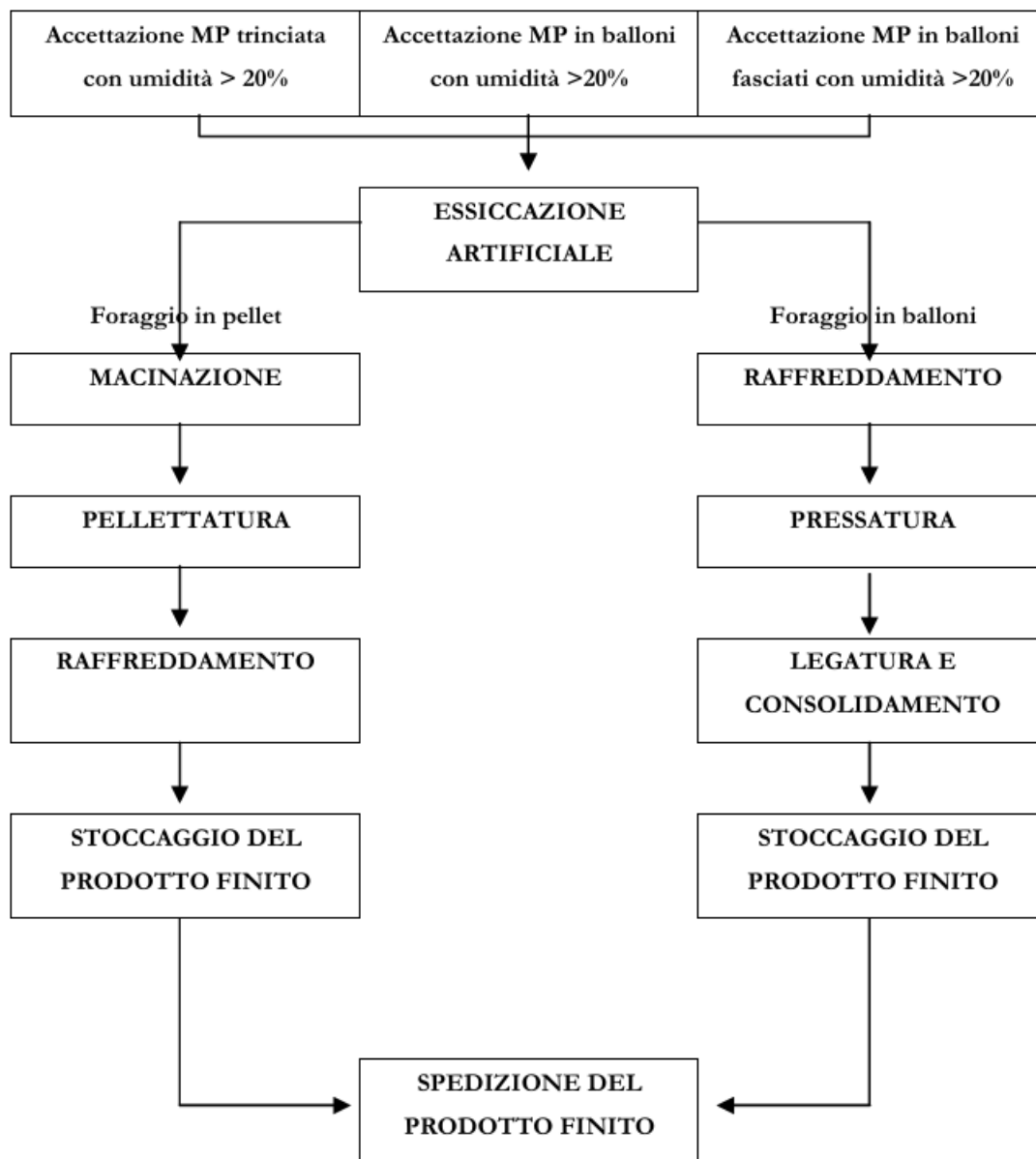


Figura 2.11 - Schematizzazione del processo di disidratazione (GUERRA, et al., 2017).



Figura 2.12 – Erba medica disidratata pressata (GRUPPO CARLI).



Figura 2.13 -Erba medica disidratata pellettata (GRUPPO CARLI).

2.4.4 Insilamento

L'insilamento è un metodo di conservazione che comporta l'acidificazione dell'acqua libera presente nel foraggio, riducendo così il suo pH. Questo sistema può essere applicato anche ai foraggi fibrosi, come alternativa alla completa essiccazione in campo. La tecnica di insilamento solitamente prevede la trinciatura della massa foraggera durante la raccolta. Per ottenere un insilato di erba medica di alta qualità è necessario far appassire il raccolto fino a certo livello. Il prodotto per essere

conservato in silos deve essere raccolto con un contenuto di sostanza secca che varia tra il 35 ed il 45%, mentre, se viene raccolto in balle, che vengono poi fasciate con pellicola di plastica, la raccolta deve avvenire al 40-60 % di contenuto di sostanza secca (MAGNIVA). Parte dell'acqua che contiene l'erba al momento dello sfalcio, viene quindi fatta evaporare in campo e possono essere necessarie le operazioni di campo tipiche della fienagione (BENVENUTI, 2021). L'erba medica inizia a perdere zuccheri subito dopo essere stata falciata, e gli zuccheri sono necessari al nutrimento dei batteri che si occupano della fermentazione (MAGNIVA).

Le fermentazioni che si possono innescare con l'insilamento hanno origine da microrganismi diversi, alcuni dei quali provocano processi utili alla conservazione, altri invece, portano allo sviluppo di condizioni poco vantaggiose che inducono perdite di sostanza organica notevoli, fino ad arrivare alla produzione di sostanze tossiche per la salute degli animali. Le tecniche di insilamento corrette portano a favorire condizioni specifiche di anaerobiosi e temperatura, che favoriscono questo processo, andando a limitare l'azione dei microrganismi dannosi. Il processo di insilamento è suddiviso in 4 fasi: 1. Fase aerobica, in cui le cellule ed i microrganismi utilizzano l'ossigeno per convertire le sostanze nutritive in calore ed anidride carbonica. Questa fase può durare da uno a più giorni, in base alla tecnica di conservazione adottata. Infatti, per le balle fasciate dura più a lungo, soprattutto se hanno un contenuto di umidità basso (BENVENUTI, 2021). Incide in questa fase la compressione con cui l'erba medica è stata insilata. Infatti, se troppo secca, diventa difficile pressarla in modo adeguato e quindi l'aria intrappolata all'interno porta ad una maggiore respirazione della pianta con conseguente produzione di calore. In questa situazione possono svilupparsi microrganismi aerobi, quali muffe, che inducono ad un'instabilità aerobica (MAGNIVA). Effettuando una corretta compressione della materia prima, si preserva una maggior quantità di zuccheri, necessari per le fasi fermentative che portano alla produzione di acidi; 2. Fase di latenza: in questa fase, che può durare al massimo una giornata, si ha la transizione delle condizioni di aerobiosi in anaerobiosi. Vi è quindi un cambio di metabolismo e quindi anche di specie microbiche. Infatti, gli acetobatteri lasciano, in parte, spazio ai lactobacilli, i quali accrescono rapidamente; 3. Fase anaerobica. in questo stadio la microflora batterica anaerobica si sviluppa rapidamente, portando ad una

produzione importante di acido lattico ed in misura minore di acido acetico ed altri acidi. Il pH, da valori iniziali di 6,5-7, scende a valori compresi tra 3,5 e 5. Inoltre, man mano che scende il pH, la popolazione batterica diminuisce progressivamente;

4. Fase di stabilizzazione: le condizioni che si sono formate portano il foraggio a non subire più mutazioni, fino a che non variano i fattori ambientali, al momento dell'utilizzazione, a causa dell'ingresso di ossigeno nella massa di prodotto. Le perdite a cui va in contro la materia stoccata con questo metodo dipendono dal processo di essiccazione in campo, esposte in precedenza, e dal processo fermentativo durante la conservazione. Un'efficace gestione dei processi fermentativi riduce le perdite di sostanza secca all'8-10%. L'instaurarsi invece di fermentazioni anomale può portare ad un aumento delle perdite sia dal punto di vista quantitativo, ma soprattutto qualitativo, andando a condizionare il valore nutritivo. Quando non c'è un giusto equilibrio tra zuccheri e acqua, oppure se c'è troppa aria, la temperatura della massa insilata può aumentare. Questo porta ad una maggiore produzione di acido acetico e ad una minore produzione di acido lattico, facendo salire l'acidità. In queste condizioni, i clostridi butirrici non vengono inibiti e possono utilizzare gli zuccheri residui e l'acido lattico, riducendo l'acidità dell'insilato e creando un ambiente con pH adatto allo sviluppo di batteri proteolitici. Valori bassi di acido butirrico e ammoniaca, che fungono da indicatori dell'attività clostridica, indicano che il prodotto è un insilato di buona qualità. La presenza di funghi, muffe e lieviti è indice che sta entrando aria nell'insilato. Ciò solitamente accade durante la fase di utilizzazione del prodotto. Le perdite di percolazione, andando ad insilare materia prima con contenuto prossimo al 40% sono molto ridotte, con valori intorno al 3% (CASAONFRI).

Capitolo 3

Analisi e confronto dei metodi di conservazione

La conservazione dell'erba medica può essere effettuata attuando pratiche diverse, le quali variano in base all'umidità della materia prima alla raccolta e alle attrezzature ed impianti disponibili all'azienda agricola, al fine di ottenere un foraggio salubre che preservi il più possibile le caratteristiche qualitative e limitando le perdite quantitative.

Analizzando la tabella riportata alla pagina 129 del manuale *La fienagione* di Benvenuti Lorenzo, pubblicato nel 2021, si evince che l'essiccazione artificiale ha importanti vantaggi rispetto all'essiccazione tradizionale. Innanzitutto, si hanno maggiori occasioni utili allo svolgimento della fienagione, poiché la permanenza in campo del foraggio viene abbreviata, in quanto lo si raccoglie ad umidità maggiore e, inoltre, si favorisce un ricaccio anticipato di un paio di giorni del medicaio. Si possono quindi sfruttare anche periodi brevi con condizioni favorevoli alla fienagione, senza dover rimandare a periodi più lunghi. In questo modo si ha una maggiore probabilità di eseguire il taglio all'interno della fase fenologica corretta, andando quindi a preservare la qualità del prodotto. Possiamo notare, infatti (Fig. 3.1) che, a seconda dello stadio fenologico in cui si esegue il taglio, l'erba medica ha una variazione della produzione di sostanza secca e dei valori nutrizionali: se si esegue prima della fioritura, si va a premiare il contenuto proteico, a scapito della resa; la fase di inizio fioritura è considerata la migliore per ottenere un equilibrio tra qualità e resa, poiché il contenuto proteico è ancora elevato e la quantità è adeguata; se, invece, viene eseguito in piena fioritura il contenuto proteico inizia a diminuire, ma si massimizza la quantità.

Al fine di ridurre le perdite di proteina e sostanza secca, dovute soprattutto alla perdita di foglia, si adotta la fienagione in due tempi. Con questa tecnica le operazioni di rivoltamento, ranghinatura e raccolta si effettuano su un foraggio più umido e quindi meno suscettibile a perdite per frammentazione. Anche le perdite date dalla respirazione microbica diminuiscono, in quanto, una rapida e completa essiccazione del foraggio con l'utilizzo degli impianti di ventilazione e di essiccazione,

porta a bloccare anticipatamente l'attività microbica poiché l'acqua libera viene completamente rimossa (Fig. 3.2). Ciò porta ad ottenere un prodotto più salubre.

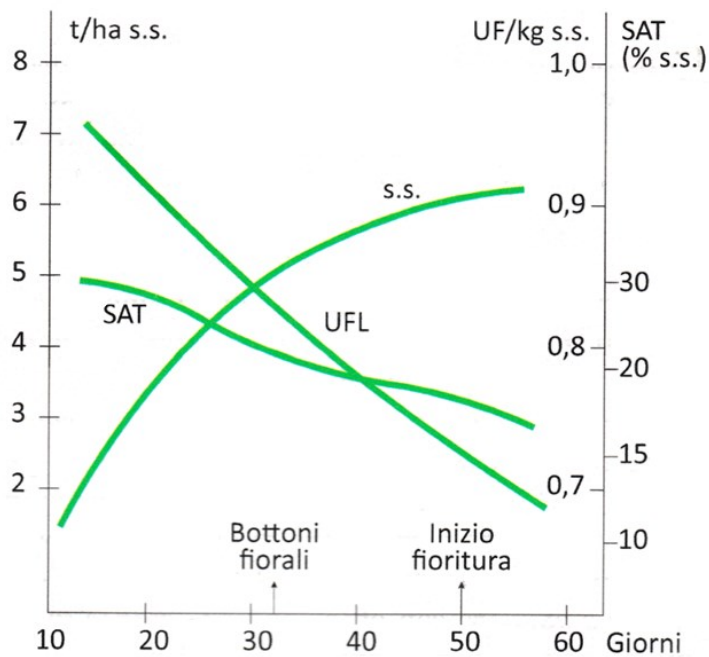


Figura 3.1 – Andamento di sostanza secca (s.s), sostanze azotate (SAT) e di unità foraggiere latte (UFL) a seconda dello stadio fenologico (BENVENUTI, 2021).

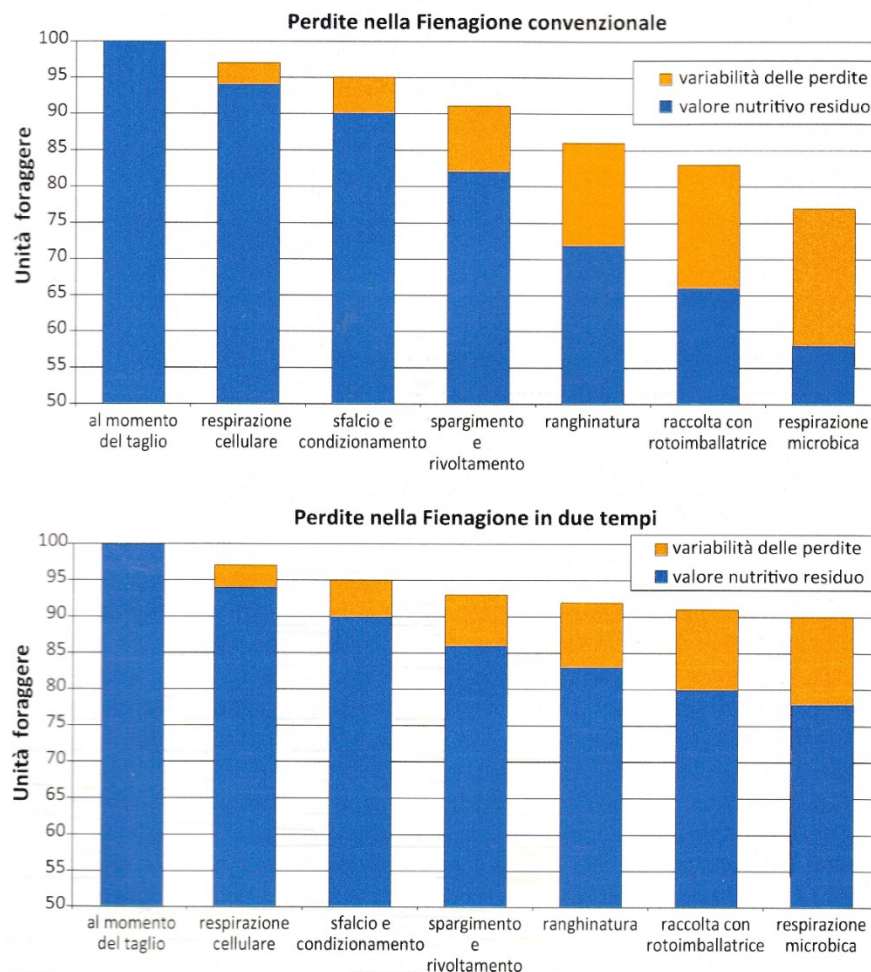


Figura 3.2 – Differenze di perdite di unità foraggiere tra la fienagione convenzionale e la fienagione in due tempi (BENVENUTI, 2021).

Analizzando invece, nello specifico i singoli metodi di essiccazione, possiamo affermare che l'essiccazione in campo è il metodo che richiede il minor numero di attrezzature o impianti. L'adozione della tecnica di insilamento può apportare un maggior quantitativo di prodotto all'azienda agricola, mantenendo una buona qualità dello stesso, in quanto essendo raccolto ad umidità maggiore rispetto al prodotto essiccato completamente in campo si hanno meno perdite. Questa tecnica necessita di un'attrezzatura non prevista per la fienagione classica, ossia la fasciatrice. Applicando questo metodo, la fonte maggiore del costo dell'operazione è attribuibile all'acquisto della pellicola plastica. Se invece il prodotto viene conservato in silos occorre effettuare opere in muratura. È importante realizzare balle ben pressate al fine di ottenere un buon insilato. Da sottolineare inoltre, che questo sistema di conservazione non è consentito nelle aziende che conferiscono il latte per la produzione di Parmigiano Reggiano e Trentingrana in quanto possono causare gonfiori tardivi nei formaggi durante la stagionatura (BENVENUTI, 2021). Impianti di ventilazione ed essiccazione, necessitano di spazi più limitati rispetto ad impianti di disidratazione. Nello specifico, gli impianti di ventilazione del foraggio sfuso, non necessitano di ulteriore spazio di stoccaggio del prodotto, in quanto, è dove avviene l'essiccazione che il foraggio verrà conservato fino al suo utilizzo. Negli altri casi, sono necessari fienili per lo stoccaggio del foraggio essiccato, sia esso sotto forma di balle o pellet. Gli impianti di ventilazione con base in armatura occupano una superficie maggiore rispetto agli impianti di ventilazione ed essiccazione in lamiera, che sono anche amovibili. È rilevante considerare anche la praticità di movimentazione dei prodotti che si ottengono: balle prismatiche e pellet di erba medica disidratata sono pressati ad alta densità, quindi, a parità di volume, rispetto a balle di prodotto essiccato o di prodotto sfuso, è presente una maggiore quantità di sostanza secca. Di conseguenza, i prodotti disidratati rappresentano una scelta migliore per una maggior efficienza nel trasporto. Per quanto riguarda la durata dei processi, i metodi che applicano la ventilazione richiedono un maggior quantitativo di tempo per portare il foraggio a perdere completamente l'acqua libera, poiché sfruttano solo la capacità essiccante dell'aria, a differenza dei metodi che prevedono il riscaldamento dell'aria. Questo porta a costi di gestione degli impianti differenti poiché negli impianti di ventilazione si ha un consumo di energia per far funzionare

il ventilatore, invece se si riscalda l'aria, si hanno consumi energetici maggiori. Risulta quindi vantaggioso utilizzare eventuali impianti a biomassa presenti in azienda, sfruttando residui agricoli e forestali, per evitare di dipendere dalle fluttuazioni dei prezzi energetici sul mercato.

Per effettuare un confronto qualitativo dei prodotti che si ottengono mediante essiccazione tradizionale, disidratazione ed insilamento, osservando la tabella 3.1 si nota che il contenuto di fibra insolubile al detergente neutro (NDF), che include emicellulosa, cellulosa e lignina, ed è un indicatore della capacità di ingerire e digerire il foraggio, si osserva che con l'insilamento si ottiene il valore di NDF più elevato. Ciò significa che sono presenti una maggior quantità di fibre strutturali che potrebbero ridurre l'assunzione di foraggio da parte degli animali (GUARDIANI, 2014). Il foraggio secco ha dei valori inferiori, ma con il foraggio disidratato si ha la minor presenza di componenti fibrose e una maggior digeribilità.

La fibra insolubile al detergente acido (ADF) è la frazione meno digeribile della fibra, costituita principalmente da cellulosa e lignina (GUARDIANI, 2014). Anche in questo caso i valori più alti si possono riscontrare con l'insilato di medica, indicando che è un prodotto con minore digeribilità complessiva. I prodotti disidratati invece, hanno un contenuto di ADF più basso, denotando maggior digeribilità.

La proteina grezza (PG) è indicatore della qualità proteica del foraggio, ed è fondamentale per la crescita e la produzione degli animali (BORTOLAZZO, et al., 2009). Il foraggio disidratato presenta il valore più alto di proteina grezza, rendendolo una fonte proteica particolarmente ricca. Al contrario l'insilato di erba medica ha il valore più basso.

Tabella 3.1 - Confronto dei valori nutrizionali di diversi metodi di conservazione dell'erba medica, in relazione al contenuto di sostanza secca. I valori dell'essiccazione tradizionale e dell'insilamento sono tratti dallo studio *Effect of Conservation Method on Digestibility, Nitrogen Balance, and Intake of Alfalfa* di Clancy, Wangsness, Baumgardt. i valori di campioni di erba medica in purezza al momento del taglio sono estrapolati dall'articolo *Fondamentale puntare alla qualità dell'erba medica* di Pacchioni e Ligabue. i dati della disidratazione sono derivati dallo studio

Caratterizzazione nutrizionale di fieni di erba medica disidratata prodotta dalle aziende agricole di Gruppo Carli di Gallo.

	s.s., %	NDF, %	ADF, %	PG, %
Taglio		41,2	34,7	18
Essiccazione tradizionale	87	51,7	40	16
Disidratazione	91	40	31,3	22,8
Insilamento	88	56,9	42,4	14,4

Un' ulteriore confronto lo si può effettuare tra la fienagione tradizionale e la ventilazione di foraggio sfuso e di rotoballe. Dalla tabella 3.2 si può notare che la ventilazione con aria calda porta ad un incremento di sostanza secca maggiore rispetto agli altri sistemi, in quanto riscaldando l'aria si accorcia la durata del processo di 12-24 ore, andando a stabilizzare prima la massa di foraggio e quindi si vanno a bloccare anticipatamente i fenomeni di degradazione ad opera dei microrganismi. Possiamo notare, inoltre, che la ventilazione delle rotoballe, confrontata con la fienagione tradizionale, porta ad un incremento di sostanza secca minore rispetto a quello del foraggio sfuso, in quanto la massa di foraggio compressa oppone resistenza al passaggio dell'aria e si possono venire a creare vie preferenziali di uscita dell'aria che portano ad una minor efficienza del processo.

Tabella 3.2 – Confronto fra diversi sistemi di conservazione dei foraggi. Valori tratti da *Fondamentale puntare alla qualità dell'erba medica* di Pacchioni e Ligabue, 2013.

	Fienagione tradizionale	Ventilazione foraggio sfuso		Ventilazione rotoballe
		con aria fredda	con aria calda	
Produzione foraggio (t/ha s.s.)	10	10	10	10
Umidità di raccolta (%)	20-28	< 40	<60	<35
Perdite s.s. (%)	30	20	12	22
Foraggio ottenuto (t/ha s.s.)	7	8	8,8	7,8
Incremento di s.s. rispetto a fienagione tradizionale (%)	-	+14	+25	+11

Conclusioni

Dal presente elaborato è emerso che esistono significative differenze nei metodi di conservazione del foraggio di erba medica. Ciascuno presenta i propri vantaggi e svantaggi e, non è possibile stabilire a priori quale sia il metodo ottimale. Ogni azienda, infatti, deve valutare la tecnica da adottare in base alle proprie esigenze, alle attrezzature di cui dispone e alla quantità di foraggio che gestisce.

La disidratazione è il metodo attraverso il quale si ottengono i migliori valori di qualità e salubrità. Si adatta meglio a grandi aziende che si occupano di commercializzare foraggi, richiede grandi investimenti per realizzare l'impianto e un corredo di macchinari di cui le aziende agricole-zootecniche solitamente non dispongono. Altri impianti che si occupano di essiccare foraggio sfuso sono adatti soprattutto ad aziende agricole-zootecniche montane poiché i pendii non sono favorevoli alla raccolta del foraggio in balle.

Gli impianti a doppia ventilazione per l'essiccazione delle balle possono essere una valida scelta per aziende zootecniche di discrete dimensioni, che si autoproducono il foraggio. In questo modo si riesce ad ottenere un prodotto essiccato che presenta caratteristiche qualitative superiori ad un prodotto essiccato solamente in campo. Inoltre, i cicli di essiccazione sono relativamente brevi, quindi con una buona pianificazione degli sfalci dei medicaia è possibile lavorare importanti quantità di foraggio. Cicli più lunghi sono necessari, invece, in impianti per la ventilazione delle balle, in quanto sfruttano principalmente la sola capacità essiccante dell'aria e ciò è un aspetto che limita le capacità produttive di questo tipo d'impianto.

L'insilamento è un metodo di conservazione del foraggio a portata anche di aziende di piccole dimensioni, in quanto non richiede grandi investimenti, ma offre la possibilità di conservare bene il foraggio raccolto ad umidità maggiori, rispetto alla completa essiccazione in campo, che comporta perdite qualitative e quantitative.

Al fine di gestire al meglio gli impianti, è anche importante valorizzare eventuali risorse disponibili per sfruttare fonti energetiche rinnovabili, come impianti a biomassa o sistemi di cogenerazione, in quanto può rappresentare una soluzione sostenibile ed economicamente vantaggiosa per ridurre i costi energetici e creare un'economia circolare all'interno dell'azienda agricola-zootecnica.

Future ricerche potrebbero focalizzarsi sull'ottimizzazione delle tecniche di conservazione, approfondendo in particolare l'effetto delle innovazioni tecnologiche e delle pratiche sostenibili, al fine di migliorare ulteriormente la qualità del foraggio e ridurre le perdite.

Bibliografia

(BENVENUTI, 2021) – BENVENUTI, *La fienagione – Principi, sistemi, macchine e impianti*, Edagricole, 2021.

(BENVENUTI, 2024) - BENVENUTI, *Essiccazione artificiale*, in *Macchine agricole*, Edagricole, 2024.

(BLINI, 2023) - BLINI, *Erba medica: buona per gli animali e per l'ambiente*, in *Carne Genuina*, 2023.

(BORTOLAZZO, et al., 2009) – BORTOLAZZO, LIGABUE, PACCHIOLI, *Conoscere il valore nutritivo dei foraggi*, in *Opuscolo C.R.P.A.*, 7/2009.

(CIRICIOFOLO e ONOFRI, 2005) - CIRICIOFOLO, ONOFRI, *La conservazione dei foraggi*, 2005.

(DAL PRÀ, et al., 2017) - DAL PRÀ, RUOZZI, PACCHIOLI, *Fieni, più qualità con l'aeroseccazione*, in *Informatore Zootecnico*, n.7 – 2017.

(GUARDIANI, 2014) – GUARDIANI, *Fibra e amido. Così nel razionamento*, in *Informatore Zootecnico*, 6/2014.

(GUERRA, et al., 2017) - GUERRA, DELLA SANTINA, FORMIGONI, BONICELLI, *Manuale di Buone Prassi igieniche nel comparto dell'erba medica e dei foraggi*, 2017.

(MACOLINO, 2019) – MACOLINO, *Appunti di foraggicoltura*, Cleup, 2019.

(PALMIERI, 2023) – PALMIERI, *L'erba medica conviene se il clima aiuta*, in *L'Informatore Agrario*, 1/2023.

(PIGNAGNOLI, et al., 2023) – PIGNAGNOLI, DAVOLIO, PACCHIOLI, RUOZZI, VALLI, ZATTA, *L'erba medica protagonista per il carbon farming*, in *L'Informatore Agrario*, 1/2023.

(RIMI, et al., 2010) - RIMI, MACOLINO, LEINAUER, LAURIAULT, ZILIOOTTO, *Alfalfa yield and morphology of three fall-dormancy categories harvested at two phenological stages in a subtropical climate*, in *Agronomy Journal*, 2010.

Sitografia

(AZIENDE AGRICOLE FORTE, 2023) - AZIENDE AGRICOLE FORTE, (settembre 2023). *Articolo: Che importanza ha l'erba medica nell'alimentazione degli animali?*. Tratto da: <https://www.agricoleforte.com/storie/erba-medica-animali-cosa-e#:~:text=Il%20betacarotene%20è%20indubbiamente,bovini%20maschi%20che%20sulle%20femmine.>

(CASAONFRI) - CASAONFRI. *Presentazione: Sistemi Foraggeri*. Tratto da: https://www.casaonofri.it/SistemiForaggeri/Presentations/Insilamento_s.pdf.

(EAPF, 2023) - EAPF. (novembre, 2023). *Articolo: Erba medica*. Tratto da: <https://www.eagff.ch/it/conoscere-le-piante-di-prati-e-pascoli/leguminose/caratteristiche-specifiche/erba-medica>.

(GRUPPO CARLI, 2020) - GRUPPO CARLI. (aprile, 2020). *Articolo: Foraggi per animali prodotti e trasformati in Italia*. Tratto da: <https://www.gruppcarli.com/>.

(GRUPPO CARLI, 2021) - GRUPPO CARLI. (marzo, 2021). *Articolo: Erba da foraggio: Le fasi di produzione*. Tratto da: <https://www.gruppcarli.com/fasi-di-produzione/>.

(ISTAT, 2022) - ISTAT, (2022). *Coltivazioni: Foraggiere*. Tratto da: <http://dati.istat.it/Index.aspx?QueryId=33704>

(MAGNIVA, 2023) - MAGNIVA. (febbraio, 2023). *Articolo: Insilato di erba medica*. Tratto da: <https://magniva.lallemandanimalnutrition.com/it/italy/crea-un-insilato-di-qualita/insilare-differenti-raccolti/insilato-di-erba-medica/>.

(MAS SEED ITALIA, 2024) - MAS SEED ITALIA. (luglio, 2024) *Articolo: Raccolta dell'erba medica: tecniche per una resa e una qualità ottimali*. Tratto da: <https://www.masseeds.it/agro-library/raccolta-dellerba-medica-tecniche-per-una-resa-e-una-qualita-ottimali/>.

(PLANTGEST) – PLANTGEST, *Articolo: Erba medica Medicago sativa, Medicago vulgaris.*
Tratto da: <https://plantgest.imagelinenetwork.com/it/piante/estensive/erba-medica/>.