

Insilati: il controllo in azienda e le nuove tecnologie dal campo alla stalla

Fabio Abeni, CREA Centro di ricerca Zootecnia e Acquacoltura

Le nuove tecnologie digitali applicate all'agricoltura stanno aprendo grandi possibilità di miglioramento alla qualità del lavoro di gestione delle foraggere destinate all'insilamento. Già partendo dalla fase di coltivazione, come vedremo, è possibile avere un controllo dello stato di crescita e di salute delle nostre piante. Unendo la valutazione delle condizioni della pianta a quelle delle previsioni meteorologiche, si può oggi puntare a centrare al meglio la scelta del tempo di raccolta e delle successive pratiche di trattamento (metodo e lunghezza di trinciatura, trattamento con inoculi, livello minimo di compressione della massa, etc.) per ottenere il migliore prodotto possibile.

In campo

La valutazione della quantità di foraggio e della maturità della pianta da insilare: valutazione con droni o da satellite

Da quando è possibile monitorare da satellite la superficie coltivata e riportare i dati in sistemi georeferenziati, si è reso attuabile il calcolo di indici di vegetazione che forniscono una stima della quantità di biomassa che si potrà andare a raccogliere. Questo è un primo elemento importante per: prevedere e impostare il lavoro di raccolta; registrare già in campo differenze di prestazione produttiva tra gli appezzamenti aziendali differenzialmente coltivati (soprattutto in termini di materiale genetico e tecniche culturali).

Esistono metodi in grado di analizzare l'immagine in modo automatizzato, sia per avere una stima della massa foraggera disponibile, sia per avere una stima dello stadio fenologico (Davies et al., 2018). All'orizzonte sembrano esserci risultati promettenti dall'applicazione di tecniche di analisi iperspettrale che, anche nel mais, sembrano in grado di fornire informazioni sulla composizione della pianta (Davies et al., 2018), in prospettiva anche fornendo una stima della produzione di granella nel caso della coltivazione del mais (Corti et al., 2018).

Questo tipo di informazioni sono applicabili, attraverso l'analisi d'immagine, anche alla valutazione dello stato di salute della coltura. Nel caso specifico degli insilati (silomais in particolare), questo significa poter adottare per tempo scelte importanti. Ad esempio, è ben noto come piante di mais attaccate in campo dalla piralide e da malattie fungine siano maggiormente soggette a sviluppare problemi di presenza di micotossine in fase di utilizzo dell'alimento. Pensiamo anche a un grande beneficio che deriva, per la salute della pianta e per la qualità dell'insilato, dalla possibilità di applicare tecniche di fertilizzazione azotata a rateo variabile. In questo modo, si ottengono due importanti risultati: una ovvia razionalizzazione della risorsa fertilizzante; la prevenzione di problemi di allettamento conseguenti a eccessi nella fertilizzazione azotata. Ad oggi, uno degli aspetti più critici dello sfruttamento aziendale di tali informazioni derivanti anche dallo spazio è quello dell'efficiente trasmissione dei dati all'utente finale (l'agricoltore allevatore) in una forma che sia leggibile e interpretabile senza l'acquisizione di particolari livelli di specializzazione culturale e tecnica, al fine di poter essere trasferiti in sistemi di supporto decisionale (**DSS**) di facile adozione e consultazione.

NIRS pre-raccolta

Allo scopo di individuare il miglior momento per raccogliere in funzione dell'insilamento, un supporto importante può venire da sistemi di analisi NIR portatili. Questi, come ricordato da Davies et al. (2018), richiedono una particolare attenzione a due aspetti che influenzano la correttezza del risultato finale. Il primo è il metodo di campionamento delle piante sulle quali eseguire la stima dello stadio di maturazione. Ricordiamo che non si tratta semplicemente di stimare la sostanza secca della pianta; se usiamo correttamente questo approccio, otteniamo una importante informazione anche sulla composizione in nutrienti della pianta e, ove presenti adeguate curve di calibrazione, dell'attitudine a una buona fermentazione in funzione della presenza di zuccheri solubili. Questo ci porta al secondo aspetto: la presenza, correttezza e aggiornamento delle calibrazioni che intendiamo sfruttare.

Colgo l'occasione per sottolineare un importante aspetto dell'adozione dei sistemi NIR a tutti i livelli nell'azienda zootecnica. La calibrazione è un momento fondamentale nel determinare la qualità del risultato analitico. Se nelle strumentazioni che usiamo non vengono aggiornate con adeguata frequenza le calibrazioni e non si adottano sistemi di controllo dell'allineamento del nostro strumento, per avere valori analitici comparabili con altri riferimenti, si rischia di vanificare un importante investimento economico.

Per valutare lo stato di salute della pianta alla raccolta si può ricorrere a sistemi di analisi dell'immagine iperspettrale da remoto della clorofilla. Tale informazione ci può allertare sulle precauzioni da adottare nella destinazione del foraggio stesso.

La tecnologia viene in aiuto alla qualità della raccolta del foraggio da insilare anche per l'importante aspetto della contaminazione del foraggio con terreno. Sappiamo che questo rappresenta la fonte principale di contaminazione da clostridi, particolarmente grave soprattutto nella filiera di produzione del latte per formaggi a lunga stagionatura, in quanto i clostridi possono determinare il problema del gonfiore tardivo delle forme. Chiaramente, l'adozione di tecnologie in grado di mantenere un'adeguata altezza di taglio del foraggio, evitando problemi posti dall'irregolarità del terreno, comporta l'insilamento di un prodotto microbiologicamente migliore, con meno rischi sia di fermentazioni indesiderate durante la conservazione, sia con minori rischi di ripresa di attività dei clostridi nelle fasi di utilizzo dell'alimento stesso.

Sulle macchine che eseguono la raccolta possiamo avere sistemi che stimano il livello di umidità effettiva del foraggio al taglio grazie alla presenza di dispositivi che ne misurano la conduttività (per questo appositamente tarati).

La sensoristica sulle macchine per la trinciatura

Con la tecnologia NIR, le macchine per la raccolta del mais sono in grado di analizzare in tempo reale il foraggio che stanno raccogliendo. La possibilità di conoscere la reale sostanza secca, che all'interno dello stesso campo può avere variazioni che raggiungono il 20%, è molto importante perché consente una immediata correzione della lunghezza di taglio del foraggio. Sappiamo che il trinciato di mais, quando raccolto con un'alta percentuale di sostanza secca, risulta più difficile da compattare; per questo, a parità di altre condizioni e scelte, si tende a ridurre la lunghezza di taglio in misura proporzionale alla sostanza secca della pianta alla raccolta, per consentire di avere in trincea una massa più facilmente compattabile. Una rappresentazione di tale fenomeno (dovuto alla maggiore capacità di trattenere aria da parte di una massa più grossolana) è riportata in **Figura 1**, ove si mette in risalto la differente quantità di lavoro che i mezzi destinati a effettuare il compattamento devono eseguire, con conseguente maggiore consumo di carburante, nel caso di trinciature "lunghe". Il secondo vantaggio derivante dalla conoscenza della sostanza secca effettiva alla raccolta riguarda la possibilità di regolare al meglio l'immissione di eventuali inoculi nella massa attraverso erogatori disposti sulla macchina trinciatrice; infatti, il dosaggio di tali trattamenti è fatto sulla quantità di sostanza secca (e non di tal quale) del foraggio.

Vantaggi ulteriori derivanti dalla applicazione NIR alla raccolta

Oltre ai vantaggi appena ricordati e di stretto interesse per la gestione della buona riuscita dell'insilamento, la conoscenza in tempo reale della concentrazione in nutrienti (proteina grezza, amido, fibra grezza, NDF, ADF, zuccheri e ceneri) consente almeno 2 obiettivi aggiuntivi:

- la possibilità di acquistare o vendere in campo il prodotto, determinando il prezzo in funzione della qualità;
- conoscere, già dal momento dell'insilamento, le principali caratteristiche che determinano il valore nutritivo dell'alimento zootecnico.

Infine, come tutte le strumentazioni della agricoltura e zootecnia di precisione (e spesso scarsamente evidenziato dalle stesse case produttrici delle strumentazioni), c'è il valore aggiunto che deriva dall'immagazzinamento automatico di grandi moli di dati. Questi possono essere analizzati non solo in funzione di correzioni immediate nell'operatività delle macchine, ma anche valutati a medio lungo termine per compiere scelte, quali quelle dell'ibrido di mais o della tecnica colturale, in funzione di quanto rilevato direttamente nei nostri campi aziendali. In pratica, l'agricoltore-allevatore può veramente essere protagonista di una nuova frontiera della sperimentazione di campo.

La tecnologia NIR è la stessa che ritroviamo in fase di desilamento quando carichiamo il foraggio sul carro miscelatore. In questo caso, la conoscenza della sostanza secca effettiva del nostro insilato ci consente di correggere in tempo reale la quantità da caricare. Infatti, l'apporto in nutrienti dell'insilato è calcolato, come per tutti gli altri alimenti, in funzione della sostanza secca; forti variazioni di umidità comportano che, per apportare nella dieta la quantità di nutrienti prevista dal silomais (ad esempio), devo caricare più prodotto tal quale.

Anche nella gestione in fase di desilamento, i vantaggi di questa tecnologia si sommano come visto sopra. È possibile, ad esempio, raccogliere in automatico dati che mi possono aiutare a comprendere quanto il valore nutritivo di un ibrido, derivato da una ben precisa tecnica colturale, sia risultato superiore a quelli di altri ibridi o dello stesso ibrido ottenuto con una diversa tecnica colturale, sempre all'interno della stessa azienda.

Le nuove tecniche e tendenze di trinciatura: possibili vantaggi

Sono in atto tendenze verso un taglio più lungo del silomais. Da un lato, la motivazione "guida" di tale tendenza è quella di ottenere un silomais che dia un contributo importante alla struttura fisica della miscelata ingerita dalla bovina, per consentire una buona funzionalità del rumine, che noi possiamo rilevare anche tramite un controllo del tempo medio giornaliero di ruminazione dei nostri animali, come fornito da sistemi di sensori "a bordo" delle bovine. Non va sottovalutato, però, anche l'aspetto dei consumi energetici. Infatti, una maggiore lunghezza di taglio comporta un

vantaggio in termini di risparmio energetico in termini di carburante. Uno studio di Marsh (2013) ha rilevato che un aumento della lunghezza di trinciatura di 1 millimetro consente un aumento di 0.12 tonnellate di trinciato raccolto per litro di carburante consumato. Non è chiaro, ad oggi, quanto il minore consumo di carburante in tale fase possa compensare il maggiore lavoro di compattamento che, come sopra ricordato, può essere necessario nel caso le particelle della pianta siano di maggiore lunghezza.

Tendenze simili sono presenti anche nelle foraggere prative e vanno sotto lo stesso nome di quelle presenti nel silomais, identificate come *shredding* (inteso nell'accezione tecnica inglese come "strappare"). Questo tipo di azione ha un differente scopo e, di conseguenza, risultato nelle foraggere rispetto al silomais, pur partendo da una apparentemente simile azione meccanica sul foraggio stesso. Infatti, nel mais questa tecnica porta all'ottenimento di un foraggio più lungo del tradizionale (al fine di migliorare l'azione fisica del foraggio nel rumine), per il quale si deve porre particolare attenzione alle operazioni di compattamento per garantire una buona fermentazione e una desiderabile stabilità aerobica in fase di utilizzo. Nelle foraggere prative, naturalmente già più "strutturate" fisicamente, lo *shredding* porta a un aumento della densità iniziale della massa, con miglioramento della qualità delle fermentazioni: pH più basso, con maggiore produzione di acido lattico e minore di butirrico (Samarasinghe et al., 2019).

Il controllo del compattamento

Misure all'insilamento

Ad oggi non vi sono molti metodi (ovviamente non distruttivi) per capire se si sta raggiungendo un giusto grado di compattamento della massa di foraggio durante le operazioni di carico di una trincea. D'altra parte, è questo il momento decisivo in cui è importante sapere se si sta operando correttamente o se è necessario aumentare l'opera di compressione della massa di foraggio. Di sicuro, ad oggi, c'è la possibilità di calcolare correttamente la quantità di peso (come macchine tipo trattori) da mettere all'opera nelle azioni di compressione in trincea. Da un punto di vista estremamente pratico e operativo, si indica di considerare che un trattore può comprimere efficacemente circa il doppio del proprio peso come quantità di sostanza secca di trinciato per ora (Amiama et al., 2015).

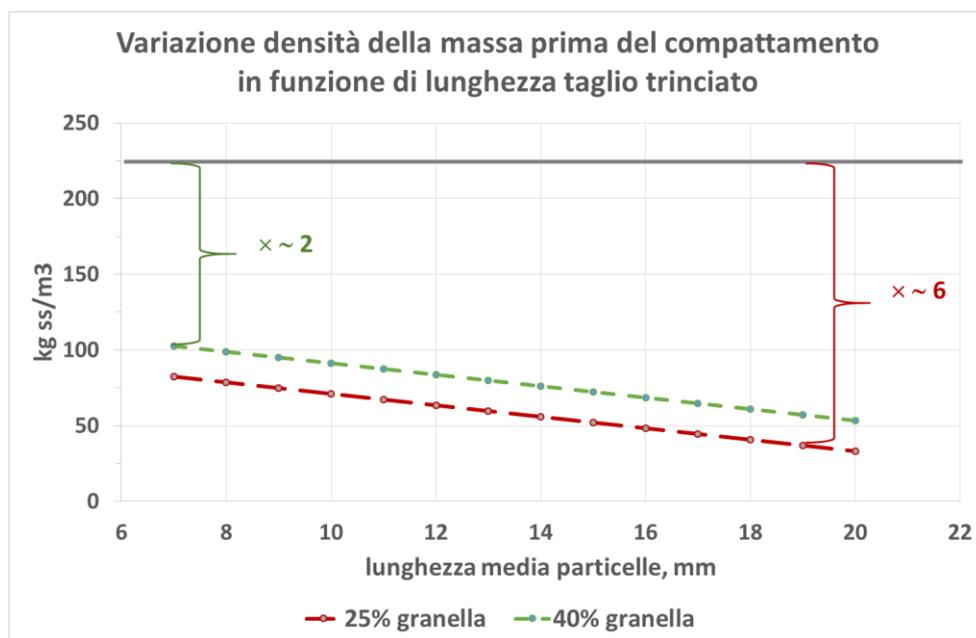


Figura 1. Effetto delle dimensioni delle particelle sulla densità della massa di silomais e conseguente raffronto con il livello di densità da raggiungere per avere una buona stabilità alla penetrazione dell'aria durante la fase di desilamento.

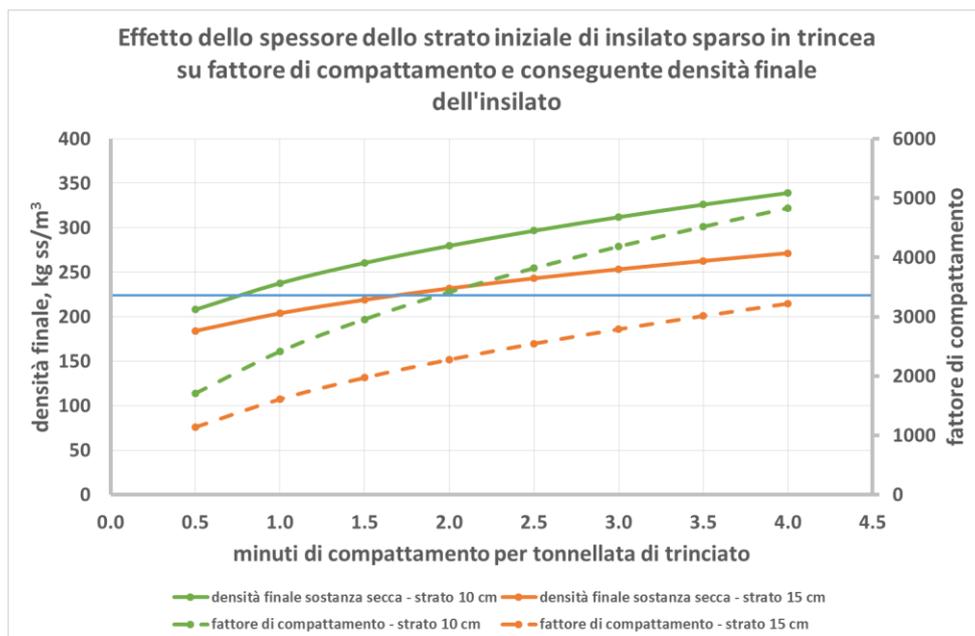


Figura 2. Effetto dello spessore iniziale dello strato di silomais (verde = 10 cm; arancione = 15 cm) e dei minuti di compattamento necessari per tonnellata di trinciato per raggiungere un livello di densità finale idoneo a ottenere una buona stabilità aerobica.

L'unico dispositivo in grado di fornire una informazione in tempo reale durante le operazioni di carico della trincea, oggi non ancora in uso a livello di imprese agromeccaniche, è oggetto di studio in Germania. Si tratta di uno strumento basato sul principio della radiometria. In questo sistema, un dispositivo che emette fotoni gamma che vengono riflessi dal materiale insilato; tale riflettanza viene misurata da un rilevatore abbinato all'emettitore (Geyer e Hoffmann, 2012). Il livello di riflettanza è proporzionale alla densità della massa insilata. Questo dispositivo deve essere portato da uno dei trattori che effettuano il compattamento della massa, in modo tale che il passaggio sulla superficie della trincea in preparazione sia contemporaneamente in grado di fornire la stima del livello di compattamento raggiunto. Il valore che si ottiene riguarda la stima della densità raggiunta a 10 cm di profondità dalla superficie, quindi la parte di materiale appena compressa dal trattore; chiaramente, questo valore è indicativo di come a profondità maggiore il livello di compattamento sia tendenzialmente maggiore. Il dispositivo è in grado di restituire il valore geolocalizzato all'interno della trincea, in modo tale che risultino subito evidenziabili eventuali punti critici (Hoffmann et al., 2013).

Per poter operare un buon compattamento del trinciato è opportuno poter controllare anche la corretta stratificazione del foraggio prima del passaggio delle macchine. Come riportato in **Figura 2**, partire da uno strato di 15 cm anziché di 10, ad esempio, comporta un maggiore tempo di compattamento per raggiungere, a parità di altre condizioni, il livello di densità finale desiderabile.

Diverso sembra essere il discorso per quanto riguarda l'insilamento in bag (da noi spesso identificati come "budelli" o "salami"). Infatti, un gruppo di ricercatori tedeschi (Mostafa et al., 2020) ha messo a punto un sistema di regolazione del sistema di compattamento dell'insilato tale da consentire l'avanzamento della macchina operatrice solo quando vengono raggiunti i livelli di compattamento desiderati. Tale sistema sembra particolarmente adatto a un lavoro di precisione con il trinciato di mais, mentre qualche problema sembra esserci per gli insilati d'erba (Mostafa et al., 2020).

Misure al desilamento

In fase di utilizzo, è possibile misurare la densità in modo abbastanza semplice, anche se non rapidissimo. Infatti, è possibile carotare il fronte della trincea con un carotatore che prelevi un campione di foraggio di volume noto. Tale campione viene pesato e si determina anche la sostanza secca dello stesso. Si arriva così facilmente al valore di kg di sostanza secca in rapporto al volume.

Un approccio più rapido, che adotta una tecnologia non particolarmente costosa, è quello della valutazione della resistenza della massa alla penetrazione da parte di un penetrometro. Tale strumento è un dinamometro invertito che è in grado di restituire il valore di sforzo massimo per la penetrazione del proprio puntale a un avanzamento noto (in centimetri).

Negli eventi dimostrativi DIM4ZOO abbiamo avuto modo di mostrare più volte il semplice funzionamento di tale strumento. Ad oggi, non abbiamo una piena standardizzazione del metodo sui diversi materiali (silomais, pastone,

insilati d'erba o altro); di conseguenza, non sono disponibili valori di riferimento assoluti. Possiamo però guardare in modo empirico a quanto riportato da gruppi di ricerca che hanno pubblicato alcune osservazioni preliminari.

I valori si esprimono in termini di Newton per centimetro quadrato (N/cm^2). Lavori olandesi riportano valori medi attorno ai $90 N/cm^2$ nel centro delle masse insilate in trincea (con variabilità da 80 a 100), mentre nelle zone periferiche tali valori tendono a dimezzarsi e a essere più variabili, a indicare come siano appunto le zone periferiche dei silo a essere maggiormente soggette a problemi di deterioramento aerobico (Vissers et al., 2007). In Italia, Gallo et al. (2016) riportano valori dello stesso ordine di grandezza, indicando però come nelle zone centrali delle trincee si possano raggiungere anche valori di $120 N/cm^2$. Nei nostri eventi abbiamo fondamentalmente dimostrato la corrispondenza pratica di tali valori con quelli riscontrabili nelle nostre condizioni, soprattutto sul silomais.

Un settore in cui vi è un certo interesse per la determinazione della densità è quello delle rotoballe. Questo è motivato da un lato dal fatto che i rilievi effettuabili sulla rotoballa possono essere utili alle case costruttrici per migliorare l'operatività delle macchine rotoimballatrici. Dall'altro lato, per l'allevatore, sarebbe importante capire se la singola rotoballa è sufficientemente densa in ogni suo punto. Infatti, sappiamo che le rotoballe di insilato non correttamente realizzate possono essere particolarmente soggette a degenerazioni microbiche pericolose per le nostre bovine (Driehuis et al., 2018). Come vedremo nella parte seguente, il nostro tentativo di misurare possibili rischi in tale materiale si è basato sulla termografia.

La termografia

Il controllo della temperatura durante la fase di consumo del fronte di un silo orizzontale rappresenta uno degli strumenti principali per monitorare l'eventuale insorgenza di problemi di deterioramento aerobico dell'insilato.

Il deterioramento aerobico rappresenta una minaccia particolarmente grave per gli insilati in quanto da esso possono derivare: problemi di sviluppo di muffe micotossinogene; problemi di ripresa di attività della microflora clostridica, con aumento della contaminazione da sporigeni che avviano un ciclo di contaminazione che dall'alimento va alle feci e quindi all'ambiente di stabulazione.

Il problema delle micotossine riguarda tutti i tipi di filiera lattiero-casearia perché si tratta di un tipo di contaminazione regolato per legge, soprattutto per quanto concerne le aflatoossine che, trasformate all'interno della bovina dal suo metabolismo, vengono escrete nel latte come aflatoossina M1.

Il problema degli sporigeni riguarda principalmente le filiere lattiero-casearia che portano alla produzione di formaggi a lunga stagionatura, andando a determinare il noto problema del gonfiore tardivo delle forme in stagionatura, con forti perdite quantitative in tale fase.

A monte di questi danni, il primo comune passaggio fondamentale è rappresentato dall'avvio dell'attività dei lieviti sulla superficie dell'insilato.

È noto che quando la popolazione di lieviti raggiunge livelli di 10^7 cfu g^{-1} sia il pH che la temperatura dell'insilato iniziano a crescere (Borreani e Tabacco, 2010). Tra queste due variabili, quella che risulta più facilmente controllabile "in campo" è certamente la temperatura. Per evidenziare le situazioni a maggiore rischio di deterioramento aerobico, gli stessi autori (Borreani e Tabacco, 2010) hanno proposto di controllare il differenziale di temperatura tra i 20 cm e i 40 cm sotto la superficie del fronte, in quanto tale misura è correlata al pH e alle conte in lieviti e muffe.

Certamente più nota e in rapida diffusione è la pratica di eseguire rilievi con termografia dell'intero fronte. Durante il progetto DIM4ZOO, abbiamo evidenziato, su più tipi di foraggio insilato in situazioni e strutture differenti, il valore informativo della termografia. Con l'uso di tale tecnica è possibile rilevare quali zone del nostro fronte sono maggiormente a rischio. Alla luce di recenti studi che dimostrano quanto incida (in misura esponenziale) l'inserimento accidentale di zone deteriorate del fronte all'interno della miscelata unifeed, si comprende come sia importante essere in grado di quantificare per tempo e separare, appena prima della quotidiana preparazione della razione, le parti di insilato nelle quali è in corso un processo di deterioramento aerobico.

Riportiamo di seguito alcune immagini raccolte durante i nostri eventi. In **Figura 3**, abbiamo l'immagine termografica del fronte di una trincea di silomais in un allevamento che ha ospitato un nostro evento. Si vede bene come la regolarità della distribuzione della massa, evitando una baulatura che non consentirebbe un buon compattamento in prossimità soprattutto delle pareti laterali, unitamente a un corretto andamento del rinnovo del fronte stesso, abbia contribuito a ottenere una buona uniformità termica, a indicare l'assenza di punti critici in termini di stabilità aerobica. In **Figura 4**, vediamo il termogramma del fronte un pastone integrale di spiga di mais. Anche in questo caso, la regolarità del compattamento tra le pareti della trincea ha determinato l'ottenimento di un fronte stabile. In **Figura 5** si riportano il termogramma dello scalzo e di prospettiva di una rotoballa di fieno-silo di foraggiere prative. L'esame termografico delle

rotoballe è particolarmente difficile da standardizzare per una lettura ottimale, soprattutto per quanto riguarda lo scalzo che, forzatamente, ha una differente esposizione alla luce in ogni suo punto in orizzontale.



Figura 3. Immagine termografica di un insilato di mais. È possibile apprezzare l'elevato livello di uniformità termica della superficie, in buona parte giustificato anche dalla estrema regolarità del fronte, sia in termini di livellamento realizzato al compattamento (assenza di "cappello" alla superficie superiore), sia in termini di rimozione del prodotto al desilamento quotidiano.

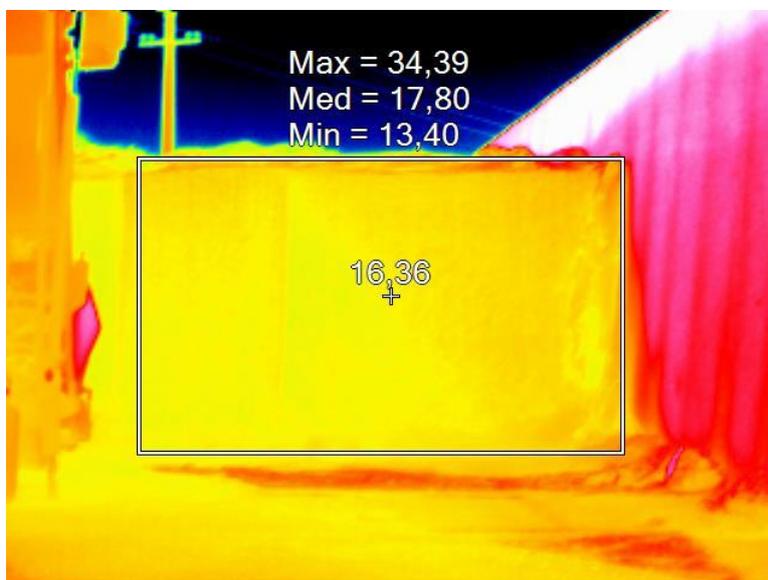


Figura 4. Immagine termografica di un pastone integrale di spiga di mais. Anche in questo caso, la regolarità delle superfici ottenute e la loro corretta manutenzione quotidiana nelle fasi di utilizzo hanno determinato la buona stabilità e omogeneità termica del prodotto.

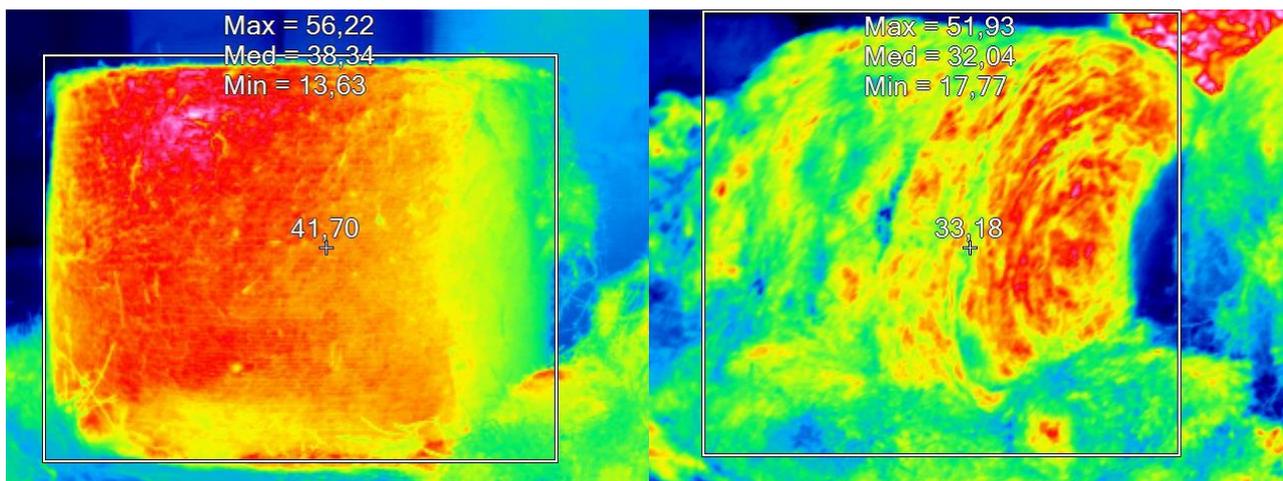


Figura 5. Immagini termografiche dello scalzo (sinistra) e della prospettiva (destra) di una rotoballa di fieno-silo fasciato di foraggiere prative.

Evoluzione delle tecniche di insilamento: le macchine compattatrici

Durante il percorso di DIM4ZOO, abbiamo potuto vedere all'opera una nuova macchina per l'ottenimento di prodotti insilati: la compattatrice. Si tratta di una tecnologia nata in campi di applicazione non agricola, ma che da qualche tempo sta suscitando l'interesse degli allevatori italiani. Infatti, abbiamo potuto seguire una dimostrazione, presso la nostra azienda sperimentale, durante la quale alcuni appezzamenti del nostro mais da trinciato di secondo raccolto sono stati compattati con tale tecnica e fasciati. Nei mesi successivi, abbiamo potuto effettuare rilievi sulla qualità del prodotto e, come riportato in **Figura 6**, fare una valutazione termografica delle rotoballe così ottenute. Come si può vedere, il prodotto ottenuto è risultato termicamente uniforme e ben conservato.

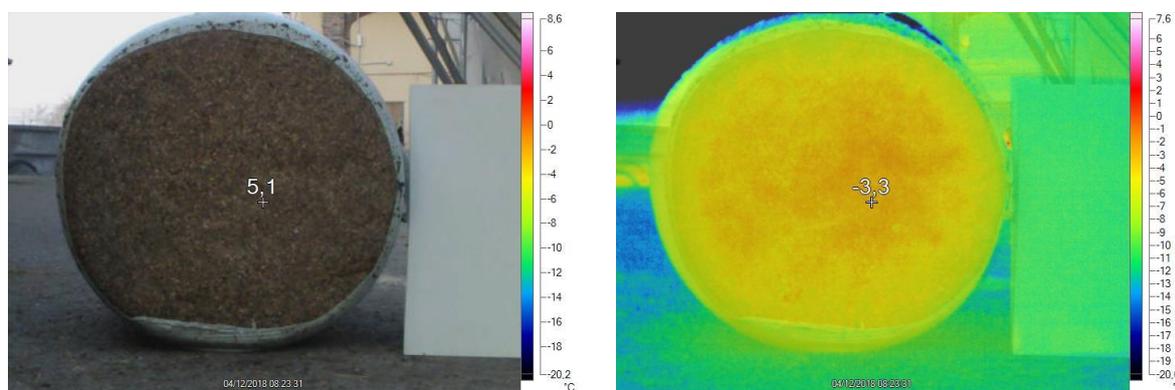


Figura 6. Esame di una rotoballa ottenuta da macchina compattatrice. A sinistra l'immagine nel campo del visibile e a destra l'immagine termografica.

Conclusioni

Nel corso del progetto DIM4ZOO abbiamo potuto prendere atto, insieme agli allevatori che hanno ospitato gli eventi e a quelli che hanno partecipato, di come le tecnologie digitali stiano supportando una grande azione di miglioramento nella gestione dei foraggi, con particolare riferimento a quelli conservabili mediante insilamento. In questa nota abbiamo voluto aggiungere alcuni spunti interessanti su nuove prospettive che si stanno aprendo in questo settore grazie a studi in gran parte ancora in atto.

Molto resta da fare, sicuramente, per una corretta gestione integrata di tutti questi nuovi dati che si stanno generando e che hanno bisogno, per diventare vera informazione utilizzabile in azienda, di essere analizzati in funzione delle molteplici esigenze di ciascuna realtà produttiva.

Riferimenti bibliografici

Amiama C., Pereira J.M., Castro A., Bueno J. (2015) - Modelling corn silage harvest logistics for a cost optimization approach. *Computers and Electronics in Agriculture*, 118: 56-65.

Borreani, G., & Tabacco, E. (2010). The relationship of silage temperature with the microbiological status of the face of corn silage bunkers. *Journal of Dairy Science*, 93, 2620–2629. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2919>

Corti M., Cavalli D., Cabassi G., Marino Gallina P., Bechini L. (2018). Does remote and proximal optical sensing successfully estimate maize variables? A review. *European Journal of Agronomy* 99, 37-50
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.06.008>

Davies D.R., Thomson A.L., Borreani G. (2018). New technologies to monitor and improve silage quality from field to feed-out. Pages 438-450, *Proceedings of the XVIII International Silage Conference*, 24-26 July 2018, Bonn, Germany, Edited by K. Gerlach and K.-H. Südekum, Germany, ISBN 978-3-86972-044-9

Driehuis F., Wilkinson J.M., Jiang Y., Ogunade I., Adesogan A.T. (2018). Animal and human health risks from silage. *Journal of Dairy Science* 101, 4093-4110 <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13836>

Gallo A., Bertuzzi T., Giuberti G., Moschini M., Bruschi S., Cerioli C., Masoero F. (2016). New assessment based on the use of principal factor analysis to investigate corn silage quality from nutritional traits, fermentation end products and mycotoxins. *J Sci Food Agric* 96, 437-448 DOI 10.1002/jsfa.7109

Geyer S., Hoffmann T. (2012). Metrological prerequisites for determination of silage density compacted in a bunker silo using a radiometric method. *CIGR ejournal* 14(4), pp. 134-143

Hoffmann T., Geyer S., Bittner J., Kögler R., Schima M. (2013). Online-determination of silage density by radiometry. *Landtechnik* 68(4), pp. 256–258

Marsh B. (2013). A comparison of fuel usage and harvest capacity in self-propelled forage harvesters. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*, 7, 649-654

Mostafa E., Roesmann M., Maack C., Schmittmann O., Buescher W. (2020). Automated pressure regulation for a silage bagging machine. *Computers and Electronics in Agriculture* 173, 105399
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105399>

Samarasinghe MB, Larsen M, Johansen M, Waldemar P, Weisbjerg MR (2019). Effects of shredding on silage density and fermentation quality. *Grass Forage Sci.* 74, 244-253 <https://doi.org/10.1111/gfs.12424>

Vissers M.M.M., Driehuis F., Te Giffel M.C., De Jong P., Lankveld J.M.G. (2007). Concentrations of butyric acid bacteria spores in silage and relationships with aerobic deterioration. *J. Dairy Sci.* 90:928–936