crea
Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria

FCSR
Fondazione CRPA Studi Ricerche

BARBISELLE s.r.l.

Dellabona Faustino e C.
S.s. Società Agricola

ERDERA

LATTE DIGITALE

UN'ESPERIENZA LOMBARDA PER LA DIGITALIZZAZIONE DELL'ALLEVAMENTO BOVINO DA LATTE

PSR 2014 2020 LOMBARDIA L'INNOVAZIONE METTE RADICI
Regione Lombardia

Programma di Sviluppo Rurale 2014 - 2020

Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale: l'Europa investe nelle zone rurali

Iniziativa realizzata con il cofinanziamento del FEASR nell'ambito dell'Operazione 16.1.01

Programma di Sviluppo Rurale 2014 - 2020

Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale: l' Europa investe nelle zone rurali

Pubblicazione realizzata con il cofinanziamento del FEASR
Responsabile dell'informazione: Alberto Menghi
Fondazione CRPA Studi Ricerche, ETS di Reggio Emilia
Autorità di Gestione del Programma: Regione Lombardia

Iniziativa realizzata nell'ambito del progetto «Latte Digitale: La produzione del latte in Lombardia verso la zootecnia digitale e di precisione» cofinanziato dal FEASR con l'operazione 16.1.01 «GRUPPI OPERATIVI PEI del Programma di Sviluppo Rurale 2014-2020 della Regione Lombardia. Responsabile del progetto è il Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria- Centro di ricerca Zootecnia e Acquacoltura, Lodi.

crea
Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria

FCSR
Fondazione CRPA Studi Ricerche

BARBISELLE s.r.l.

Dellabona
Faustino e C.
S.s. Società Agricola

ERDERA

UN'ESPERIENZA LOMBARDA PER LA DIGITALIZZAZIONE DELL'ALLEVAMENTO BOVINO DA LATTE

PSR 2014 2020 LOMBARDIA L'INNOVAZIONE METTE RADICI
Regione Lombardia

Programma di Sviluppo Rurale 2014 - 2020

Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale: l'Europa investe nelle zone rurali

Iniziativa realizzata con il cofinanziamento del FEASR nell'ambito dell'Operazione 16.1.01

INDICE:

pag. 5 **IL PROGETTO LATTE DIGITALE**

pag. 7 **1. IL GRUPPO OPERATIVO LATTE DIGITALE: LE AZIENDE PARTNER**

pag. 7 *1.1 L'azienda Barbiselle*

pag. 9 *1.2 L'azienda Della Bona*

pag. 12 *1.3 L'azienda Verdera*

pag. 15 **2. I DATI AL CENTRO DELLA DIGITALIZZAZIONE A SUPPORTO DI UNA ZOOTECNIA DI PRECISIONE**

pag. 15 *2.1 Gli albori della "Precision livestock farming" e lo sviluppo dei primi sensori*

pag. 16 *2.2 La rivoluzione dei dati e il concetto di informazione*

pag. 17 *2.3 Importanza dell'integrazione tra sistemi diversi*

pag. 19 *2.4 Perché siamo ancora lontani dal raggiungimento di una completa integrazione dei dati di PLF?*

pag. 21 **3. DIGITALIZZAZIONE E ZOOTECNIA DI PRECISIONE: DALLA GESTIONE RIPRODUTTIVA AL CONTROLLO DELLA SALUTE**

pag. 21 *3.1 Introduzione*

pag. 21 *3.2 L'allevamento bovino da latte in Italia*

pag. 23 *3.3 Le Tecnologie di Zootecnia Di Precisione*

pag. 24 *3.4 Le tecnologie presenti nelle stalle e la loro diffusione*

pag. 25 *3.5 Stato riproduttivo e di salute*

pag. 29 *3.6 Sanità della mammella*

pag. 31 *3.7 Come le tecnologie migliorano il benessere animale e la sostenibilità*

pag. 33 **4. DIGITALIZZAZIONE E ZOOTECNIA DI PRECISIONE A SUPPORTO DELL'ALLEVAMENTO DELLA VITELLA**

pag. 33 *4.1 Introduzione. Importanza della fase di vitella per lo sviluppo della bovina da latte e per la sua futura carriera produttiva*

pag. 33 *4.2 La gestione di precisione del colostro: metodiche e strumenti a supporto*

pag. 35 *4.3 Il monitoraggio delle condizioni di stabulazione: microclima e qualità dell'aria*

pag. 35 *4.4 Il comportamento alimentare della vitella e le informazioni che fornisce attraverso la sensoristica*

pag. 37 *4.5 La fase di stabulazione individuale: quali strumentazioni abbiamo a disposizione (viste in Latte Digitale) e quali dati ci forniscono*

pag. 41 *4.6 La fase di stabulazione in gruppo; quali strumentazioni abbiamo a disposizione (viste in Latte Digitale) e quali dati ci forniscono*

pag. 42 *4.7 L'importanza del peso della vitella: alla nascita, al termine della fase di stabulazione individuale e (giorno per giorno) durante la fase di stabulazione in gruppo*

pag. 43 *4.8 Descrizione del sistema raccolta, gestione ed elaborazione dati, con particolare riferimento alle analisi mediante carte di controllo e analisi delle serie temporali*

pag. 43 *4.9 L'importanza del monitoraggio delle cause di morbilità e mortalità nelle diverse fasi della vitella*

pag. 44 *4.10 Presentazione dei risultati dell'approccio statistico adottato e discussione delle relative implicazioni per la gestione del benessere e della salute della vitella*

pag. 47 **5. DIGITALIZZAZIONE E ZOOTECNIA DI PRECISIONE PER LA GESTIONE DELL'ALIMENTAZIONE E LA PREVENZIONE DELLE DISMETABOLIE**

pag. 47 *5.1 Introduzione: il ruolo dell'alimentazione nella prevenzione e gestione delle dismetabolie della bovina da latte*

pag. 49 *5.1.1 Spiegazione del razionale in base al quale vengono adottati i sistemi descritti*

pag. 49 *5.2 Esame della reportistica e possibile gestione e valorizzazione dei dati prodotti dai dispositivi esaminati nel corso del progetto*

pag. 51 *5.3 Descrizione sistema raccolta, gestione ed elaborazione dati, con particolare riferimento alle analisi mediante carte di controllo e analisi delle serie temporali.*

pag. 52 *5.4 Presentazione dei risultati delle principali elaborazioni statistiche valutate e discussione delle relative implicazioni per la gestione dell'alimentazione e la prevenzione delle dismetabolie nella bovina da latte*

pag. 55 **6. RELAZIONE FRA BENESSERE ANIMALE E ZOOTECNIA DI PRECISIONE**

pag. 55 *6.1 Introduzione*

pag. 56 *6.2 La metodologia IBA (Indice di Benessere dell'Allevamento*
pag. 56 *6.2.1 Checklist di rilievo in allevamento*
pag. 56 *6.2.2 Indicatori e macroaree*
pag. 56 *6.2.3 Punteggi, indice, classe di merito e punti critici*
pag. 56 *6.2.4 Scheda riassuntiva*
pag. 57 *6.3 Risultati delle valutazioni IBA*
pag. 57 *6.3.1 Classe IBA totale e per macroarea*
pag. 58 *6.4 Analisi dei risultati aggregati*
pag. 58 *6.4.1 Automazione dell'alimentazione*
pag. 58 *6.4.2 Automazione della mungitura*
pag. 59 *6.4.3 Automazione dell'alimentazione*
pag. 59 *6.4.4 Gestione automatizzata dell'allevamento*
pag. 60 *6.4.5 Vacche zoppe*
pag. 61 **7. ANALISI TECNICO ECONOMICA**
pag. 61 *7.1 Introduzione*
pag. 61 *7.2 Descrizione della metodologia Milk Money*
pag. 63 *7.3 Caratteristiche del campione di allevamenti*
pag. 63 *7.3.1 Le aziende che producono Latte Alimentare/Grana Padano*
pag. 63 *7.3.2 Le aziende che producono latte per Parmigiano-Reggiano*
pag. 64 *7.4 L'analisi del costo di produzione*
pag. 64 *7.4.1 Il costo di produzione del latte nelle aziende da Latte Alimentare/Grana Padano*
pag. 64 *7.4.2 Il costo di produzione del latte nelle aziende da Latte per Parmigiano-Reggiano*
pag. 65 *7.4.3 Il costo di produzione medio del latte nelle aziende analizzate*
pag. 67 *7.5. Possibile correlazione tra benessere animale e costo di produzione del latte*
pag. 67 *7.5.1 Costo di produzione e IBA negli allevamenti da Latte Alimentare/Grana Padano*
pag. 68 *7.5.2 Costo di produzione e IBA negli allevamenti da Latte per Parmigiano-Reggiano*
pag. 69 **8. PRIMI DATI SU DIGITALIZZAZIONE E ZOOTECNIA DI PRECISIONE NELL'ALLEVAMENTO BOVINO DA LATTE IN LOMBARDIA**
pag. 69 *8.1 Gli aspetti collegati alla diffusione dell'innovazione in agricoltura: le specificità della digitalizzazione e della zootecnia di precisione*
pag. 72 *8.2 Valutazione della diffusione dell'innovazione digitale e della zootecnia di precisione negli allevamenti lombardi di bovine da latte*
pag. 72 *8.2.1 Il questionario come metodo di indagine sulla diffusione delle innovazioni nella produzione primaria*
pag. 74 *8.2.2 Presentazione delle prime statistiche descrittive rilevate con il questionario nel progetto Latte Digitale*
pag. 76 *8.3 Conclusioni*
pag. 77 **9. DIGITALIZZAZIONE E ZOOTECNIA DI PRECISIONE: QUALI BENEFICI PER LA RIDUZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE DELLA PRODUZIONE DI LATTE BOVINO**
pag. 77 *9.1 Introduzione*
pag. 78 *9.1.1 Life cicle assesment o LCA*
pag. 79 *9.1.2 Il modello di calcolo*
pag. 82 *9.2 La valutazione dell'impatto ambientale nelle tre aziende partecipanti al progetto Latte Digitale*
pag. 82 *9.2.1 Azienda Verdera di Donà Iaverio e C.S.S*
pag. 84 *9.2.2 Azienda Della Bona Faustino S.S. Società Agricola*
pag. 85 *9.2.3 Azienda Barbiselle S.R.L. Società Agricola*
pag. 86 *9.3 Conclusioni*
pag. 89 **RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI**

IL PROGETTO LATTE DIGITALE

Salvatore Claps - Direttore CREA-ZA Centro di Ricerca Zootecnia e Acquacoltura

Il progetto "La produzione del latte in Lombardia verso la zootecnia digitale e di precisione – LATTE DIGITALE" (responsabile scientifico Dott. Fabio Abeni) fa parte delle iniziative finanziate da Regione Lombardia in ambito FEASR – Programma di Sviluppo Rurale 2014-2020, MISURA 16 – "COOPERAZIONE", SOTTOMISURA 16.1 – "Sostegno per la costituzione e la gestione dei Gruppi Operativi del PEI in materia di produttività e sostenibilità dell'agricoltura", OPERAZIONE 16.1.01 – "Gruppi Operativi PEI". Si tratta di uno dei tanti momenti in cui la nostra sede di Lodi, grazie alla fiducia dimostrata da Regione Lombardia verso il nostro lavoro, ha potuto conoscere e fare conoscere l'innovazione praticata dagli allevamenti bovini da latte di quello che è un territorio di elezione per la filiera lattiero casearia bovina. Si parla molto di "zootecnia digitale" e di "zootecnia di precisione": l'interesse è grande, ma probabilmente siamo ancora ai primi passi di un lungo percorso. Il nostro gruppo di ricerca di Lodi ha già avuto modo, con precedenti progetti a carattere informativo e dimostrativo quali DIM4ZOO, NEW4REP e CTRL-C-MAST nell'ambito dei PSR lombardi, di fare conoscere il potenziale impatto che le tecnologie digitali applicate alla zootecnia possono avere: dalla conservazione e gestione degli alimenti zootecnici, al benessere animale, alla salute della mammella e all'efficienza della gestione riproduttiva della mandria. Con questo progetto, oltre agli approfondimenti sulle precedenti tematiche resi possibili dalle installazioni realizzate dagli allevatori partner, è stato possibile affrontare nuovi aspetti quali: valutazione economica dell'effetto che l'adozione di queste tecnologie può avere a livello di miglioramento del benessere animale; valutazione della situazione di impatto ambientale degli allevamenti partner prima e durante il percorso di adozione delle nuove tecnologie; il monitoraggio dei consumi di energia elettrica (divenuto un argomento di assoluta priorità nazionale proprio durante lo svolgimento del progetto stesso).

Come accennato, siamo solo all'inizio di un lungo percorso. Certamente abbiamo a disposizione strumentazioni con un grande potenziale, ma la loro piena valorizzazione deve passare attraverso una presa di coscienza di come tali innovazioni cambino la concezione del lavoro nel settore zootecnico. Infatti, stanno mutando le condizioni in cui si deve operare, spesso abbandonando la necessità di una grande fatica fisica associata ad orari di lavoro (notturni, come nel caso della mungitura) poco attraenti per i giovani che, giustamente, non vogliono rinunciare a una buona qualità della loro vita lavorativa e personale. Le professionalità oggi richieste prevedono una buona conoscenza dell'informatica (almeno a livelli di utenza pratica) e capacità di gestire e interpretare un importante flusso di dati che, se trasformato in informazione, può aumentare la competitività delle nostre imprese.

Per questo, fa particolarmente piacere sapere come negli eventi realizzati, per presentare le innovazioni presenti in questo progetto, vi sia stata una forte presenza di giovani. Saranno loro, infatti, a dover portare a buon fine questa grande trasformazione della zootecnia italiana. Personalmente, ringraziando Regione Lombardia, la Fondazione CRPA Studi e Ricerche che ha partecipato al progetto curandone anche gli aspetti di comunicazione e, ovviamente, le tre imprese agricole partner (Barbiselle, Della Bona e Verdera), mi auguro che questo volume possa fissare il ricordo di una importante attività del nostro CREA-ZA e rappresenti uno stimolo alla curiosità di chi vorrà prendere atto che esiste una zootecnia sostenibile, dove il benessere animale si coniuga con la soddisfazione dell'imprenditore, nel rispetto dell'ambiente e del consumatore.

1. Il Gruppo Operativo Latte Digitale: le aziende partner

Fabio Abeni e Greta Canevaro - CREA-ZA, Centro di ricerca Zootecnia e Acquacoltura, sede di Lodi

1.1 L'azienda Barbiselle

La storia dell'azienda Barbiselle si intreccia in modo significativo con la storia del nostro paese, per come il fondatore ha vissuto la prima guerra mondiale e per come i suoi eredi hanno vissuto le conseguenze di questo evento, sapendo prendere poi in mano, sin dal primo Novecento, le sorti di quello che è certamente uno degli allevamenti storici della zootecnia cremonese e, più in generale, italiana. Nella prima metà del secolo scorso, l'azienda Barbiselle è arrivata ad essere popolata da più di 20 famiglie di braccianti per coltivare frumento, vite, tabacco, colza e mais, su una superficie di circa 40 ettari e con una stalla con 80 vacche in lattazione. La famiglia di Elisabetta Quaini, l'attuale proprietaria di Barbiselle, con Laurea in Economia e Master in *Science of Agricultural Economics*, ha avuto un peso importante nel miglioramento genetico della Frisona Italiana nel secolo scorso anche per una seconda azienda (Salone, nei pressi di Roma) dalla quale è uscito uno dei tori che ha fatto la storia della razza: Talent King of Salone.

Attualmente, l'azienda si estende su una superficie di 180 ettari di proprietà e ne coltiva altri 50 in affitto. Le colture assicurano l'autosufficienza alimentare dei capi allevati, grazie a mais di primo e secondo raccolto (per trinciato integrale e per pastone), frumento (per trinciato da insilare e per fieno), erba medica (per insilato e per fieno), loietto (insilato e fieno), sorgo. Tutti gli appezzamenti sono raggiunti da un sistema sotterraneo per fertirrigazione e si trovano in zona non vulnerabile per il carico di azoto.

Attualmente, sono presenti oltre 600 capi in lattazione munti con giostra da 30 posti, in grado di mungere 130-150 capi all'ora. Dall'inizio del nuovo millennio, l'azienda ha posto particolare attenzione (come vedremo anche nel progetto Latte Digitale) verso la qualità della gestione della rimonta, adottando presto anche sistemi di automazione nella alimentazione delle vitelle. Sempre nello stesso periodo, si è investito anche per la introduzione di un sistema di produzione di energia dalla tecnologia del fotovoltaico grazie all'intelligente sfruttamento delle coperture delle stalle.

Attualmente, l'azienda consegna circa 7.700 tonnellate di latte all'anno alla Latteria Soresina.

L'attenzione alla selezione genetica è sempre stata al centro degli interessi della famiglia Quaini, come testimoniato sia dalla partecipazione e dai successi alle manifestazioni fieristiche (con capi premiati alla Fiera Internazionale del Bovino da Latte di Cremona), sia dalla precoce applicazione delle tecnologie per la selezione genomica.

Nel progetto Latte Digitale *(Marino et al., 2020),* i dati dell'azienda sono stati acquisiti direttamente in forma digitale e processati per l'analisi degli andamenti di maggiore interesse e associati ai rilievi sulla alimentazione delle bovine in lattazione realizzati dai ricercatori CREA. Un elemento particolarmente interessante è stato quello relativo alla gestione del colostro (per una corretta e precisa gestione della colostratura) ed alla automazione e digitalizzazione della alimentazione liquida delle vitelle, sia per la fase di stabulazione in gabbietta individuale, sia per la fase di stabulazione in gruppo che porta allo svezzamento. Nel primo caso, si è introdotta una soluzione che, pur necessitando di una presenza dell'operatore che conduce il carrello con il latte alla temperatura desiderata, è in grado di garantire la precisa distribuzione delle dosi prestabilite a ciascun individuo che viene riconosciuto dal codice presente sulla gabbietta. Nel

secondo caso, si ha un sistema che non solo consente l'individualizzazione del piano alimentare, ma fornisce anche il reale consumo di latte giornaliero, insieme alla quantità di pasti effettuati (e anche quelli richiesti, pur senza ottenimento dell'alimento) e alla velocità di suzione; come vedremo, questi ultimi due dati sono fortemente indicativi dello stato di salute e benessere dell'animale.
Infine, la zootecnia di precisione entra nel discorso della adozione di criteri per una messa in asciutta selettiva, basata sulla analisi strumentale, nel laboratorio aziendale, delle cellule somatiche totali e differenziali del latte di ciascun quarto.

Negli eventi dimostrativi realizzati nel corso del progetto, è stata valorizzata soprattutto la adozione delle tecnologie per la gestione dal colostro allo svezzamento (Figura 1, 2, 3, 4).

Figura 1.

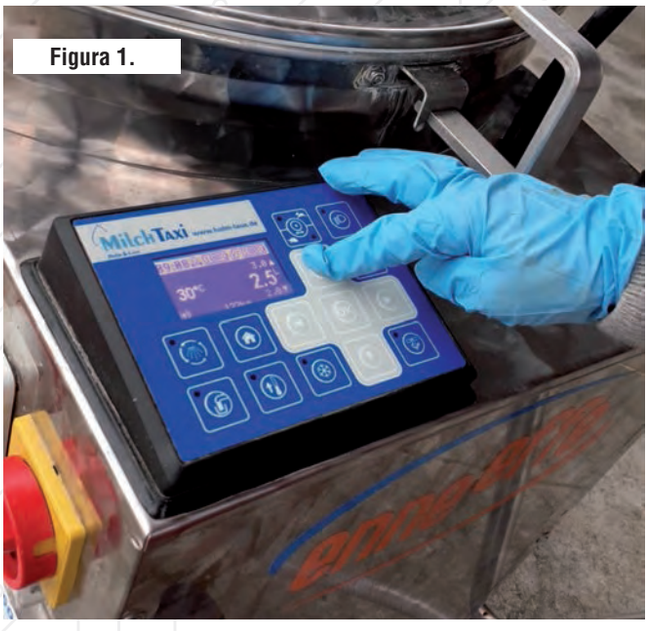


Figura 2.

Figura 3.

Figura 4.

Figura 1. Sistema di preparazione e distribuzione dell'alimento liquido all'azienda Barbiselle.
Figura 2. Distribuzione dell'acqua di abbeverata a temperatura controllata alle vitelle all'azienda Barbiselle.
Figura 3. Alimentazione liquida automatizzata durante la fase di stabulazione in gruppo delle vitelle all'azienda Barbiselle.
Figura 4. Un'immagine dei recinti a disposizione delle vitelle all'azienda Barbiselle.

1.2 L'azienda Della Bona

L'unità produttiva principalmente coinvolta nel progetto Latte Digitale per l'azienda Della Bona è stata la cascina Monticella, sita in Gambara; tuttavia, vista la sostanziale integrazione con altre unità produttive vicine della stessa impresa, si è ritenuto indispensabile acquisire e gestire i dati delle altre due unità site nello stesso comune.

L'unità Monticella

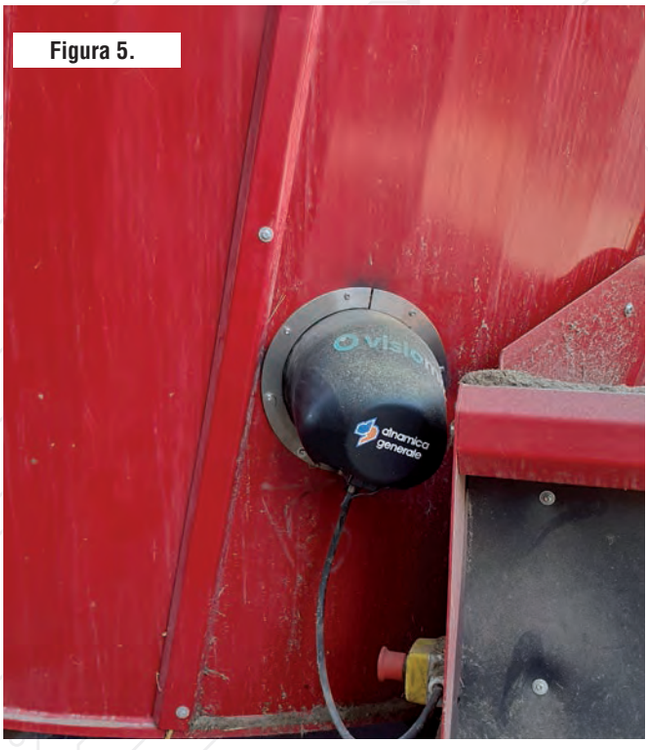
La principale innovazione introdotta in questa unità (dalla quale dipendono anche le azioni di alimentazione delle bovine delle altre due unità presenti nello stesso comune di Gambara) è rappresentata dalla acquisizione di un carro miscelatore dotato di sistema di analisi rapida NIR e, cosa assolutamente originale al momento dell'avvio del progetto, di un sistema di analisi delle dimensioni e uniformità della miscelata stessa.

Oggi si parla molto, nell'ambito della zootecnia di precisione, di alimentazione di precisione. Gran parte delle situazioni in cui si considera applicata una alimentazione di precisione fanno oggi riferimento essenzialmente alla adozione di metodi di controllo, in tempo reale, della composizione degli ingredienti e della miscelata distribuita, generalmente grazie all'uso di sistemi di analisi basati sulla tecnologia NIR *(Near Infrared Reflectance Spectroscopy)*. Questo è vero anche all'azienda Monticella, dove è installato non solo un NIR sul carro di preparazione della miscelata, ma anche un sistema, ad esso collegato, in grado di correggere in tempo reale la quantità di alimenti (soprattutto insilati) in base al loro effettivo contenuto in sostanza secca. Alla cascina Monticella, però, c'è qualcosa in più. Infatti, questa azienda ha acquistato un sistema che, mediante analisi d'immagine e intelligenza artificiale, è in grado di esprimere un indice di dimensione delle particelle e uno di uniformità della miscelata stessa rispetto a un obiettivo di riferimento. Questo perché uno degli aspetti importanti per il benessere animale e la prevenzione di disturbi del tratto digerente della bovina è rappresentato dall'apporto di una razione equilibrata non solo dal punto di vista chimico (cosa verificata tramite NIR), ma anche fisico. Tutto questo per evitare che la bovina possa incorrere in problemi di acidosi ruminali e per fare questo, quindi, è necessario che la miscelata sia della giusta dimensione e che vi sia anche un buon grado di uniformità per impedire che le bovine possano selezionare le frazioni di alimento da loro preferite, lasciando in avanzo la parte più fibrosa. Lo strumento viene installato sul carro miscelatore nella posizione consigliata dalla casa costruttrice del dispositivo, al fine di poter lavorare secondo una procedura standardizzata, necessaria per poter generare dati attendibili basati sul processo di calibrazione precedentemente effettuato (Figura 5, VisioMix). Il funzionamento del sistema viene seguito, dall'operatore che prepara la razione, mediante una applicazione sullo SmartPhone (Figura 6), che evidenzia il progressivo raggiungimento degli obiettivi per i due parametri indicati, consentendo all'operatore stesso di ottimizzare il lavoro di miscelazione, senza andare oltre i tempi necessari, evitando così anche uno spreco di tempo ed energia.

L'unità Fenice

L'unità Fenice è adiacente alla Monticella ed è stata oggetto di una importante trasformazione proprio nel corso del progetto Latte Digitale. Questo ha consentito di condividere un momento particolarmente importante, anche per lo sviluppo tecnologico implementato, tra l'allevatore e i ricercatori. Fondamentalmente, quella dell'azienda Fenice è stata un'opera di inglobamento e adeguamento di una sala di mungitura già presente, creando attorno alla stessa un sistema di stabulazione di tipo *compost barn*, attraverso la realizzazione di strutture leggere, per consentire una buona luminosità dell'ambiente associata a una ventilazione naturale idonea ai processi di maturazione e stabilizzazione della lettiera compostata. Nella Figura 7 è possibile vedere come si è gradualmente proceduto nella realizzazione dell'intervento per giungere al risultato di Figura 8, come si presenta oggi l'unità produttiva. In Figura 9 si riproduce la relazione tra superficie di lettiera compostata a disposizione per bovina, lavoro annuale necessario per vacca per governarla e

consumo annuale di materiale per lettiera (equazioni tratte da *Leso et al., 2013*). Con questo sistema si passa ad una concezione dinamica della gestione della lettiera in funzione del raggiungimento di due obiettivi principali: la sua sanificazione rispetto alla presenza di potenziali microrganismi patogeni (sia per prevenire problemi di mastite, sia per ridurre i problemi podali); l'ottenimento di un materiale fertilizzante per il terreno, in grado di apportare una sostanza organica più stabile nel lungo periodo.



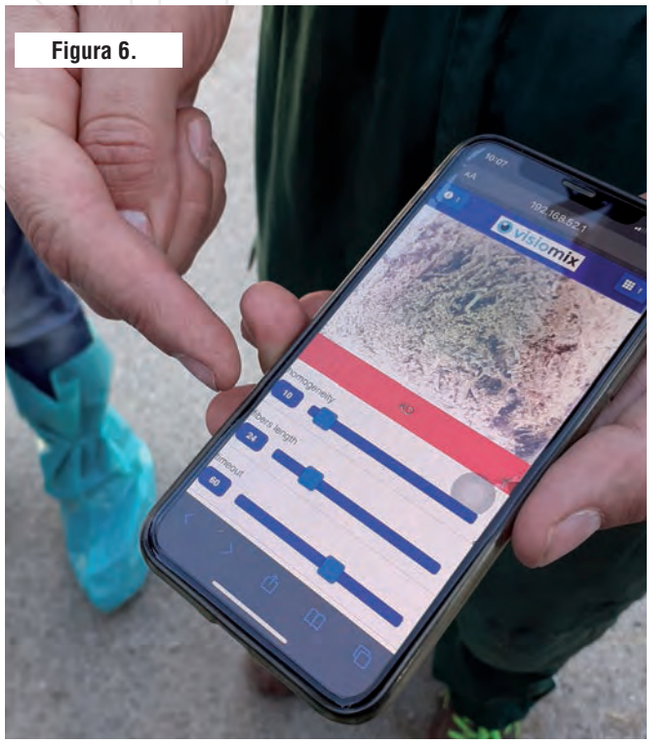


Figura 5. Immagine del dispositivo VisioMix (Dinamica Generale).
Figura 6. App per SmartPhone per gestire il sistema VisioMix (Dinamica Generale).
Figura 7. Fase intermedia di realizzazione dell'intervento all'unità produttiva Fenice.
Figura 8. Attuale condizione dell'unità produttiva Fenice.

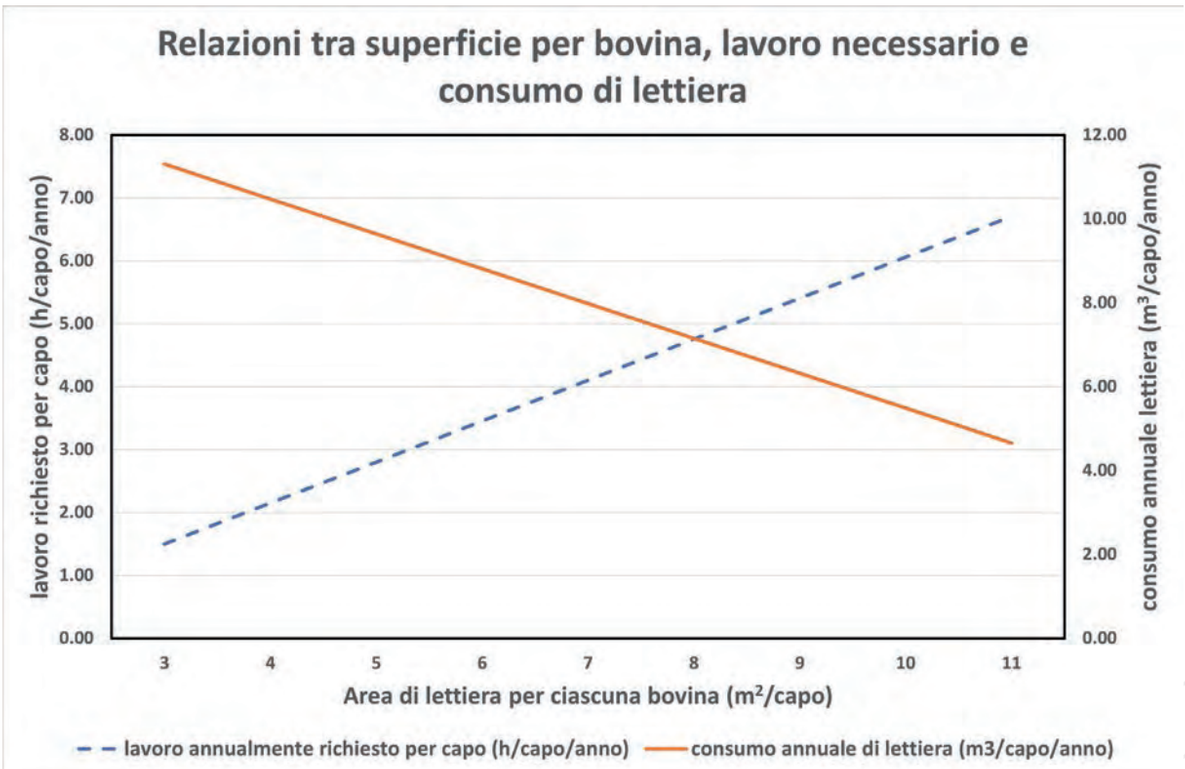


Figura 9. Relazione tra superficie di lettiera a disposizione di ciascuna bovina, ore di lavoro necessarie annualmente e consumo annuale di lettiera per ciascun capo in caso di adozione del sistema a lettiera compost (utilizzando le equazioni riportate da Leso et al., 2013).

Presso la Fenice si è realizzata un'altra delle importanti innovazioni di zootecnia di precisione dell'azienda Della Bona: la vitellaia con il controllo del microclima e l'automazione della distribuzione individuale dell'alimento liquido in gabbietta.
Per il controllo del microclima si è realizzato un sistema integrato di sensori per temperatura e umidità dell'aria, luminosità e gas indesiderati, gestito da un software fornito dalla ditta che ha realizzato la vitellaia.
Per la gestione ed il controllo individuale automatizzato dell'alimentazione liquida, è presente un sistema che prepara, in modo centralizzato nella vitellaia, l'alimento liquido da distribuire individualmente mediante dispositivo mobile dotato di tettarella.
Come vedremo meglio nell'apposito capitolo dedicato all'alimentazione di precisione della vitella, l'allevatore può rilevare due parametri importanti per comprendere lo stato di salute del singolo animale: la quantità di alimento consumata rispetto a quella assegnata; la velocità di assunzione dell'alimento. Entrambi i parametri sono fortemente collegati all'appetito dell'animale, primo segnale che non vi sono problemi in corso. Ricordiamo, infatti, che situazioni collegate a stati infiammatori, a seguito del rilascio di citochine pro-infiammatorie anoressizzanti, determinano una riduzione dell'appetito, così come stati di disturbi intestinali (diarree). Il vantaggio della adozione di questi sistemi è particolarmente evidente in situazioni di elevata numerosità di capi allevati, ove in tal modo anche un singolo operatore riesce a far fronte al lavoro necessario senza perdere il controllo individuale degli animali.

L'unità Cappellina
La terza unità produttiva a Gambara è l'azienda Cappellina, ove l'alimentazione è realizzata sempre grazie al sistema di precisione che, ogni giorno, inizia il suo lavoro alla Monticella per poi raggiungere le stalle di questa unità. Anche il sistema di mungitura sfrutta le stesse tecnologie di controllo quanti-qualitativo della

produzione presenti in Monticella e basate sul sistema NIR, in grado di fornire i macro-componenti del latte di ciascuna bovina a ciascuna mungitura. Questo, vedremo anche più avanti, supporta l'allevatore nel monitoraggio della qualità del latte a fini diagnostici, grazie all'informazione che deriva dalla conoscenza del rapporto tra grasso e proteina, ad indicare sia possibili rischi di chetosi (anche subclinica) che di acidosi ruminale.

1.3 L'azienda Verdera

L'azienda Verdera è condotta dalla famiglia Donà. Situata nel comune di Gonzaga, è risultata importante nel progetto Latte Digitale per diverse ragioni:
-scelte di innovazione tecnologica attuate (e relative criticità da affrontare);
-filiera produttiva di appartenenza (Parmigiano Reggiano) e relativo impatto sulle scelte in termini di gestione dei foraggi;
-caratterizzazione fortemente famigliare della conduzione *(Marino, 2020)*.

Partiamo dall'ultimo punto. La famiglia Donà è totalmente impegnata nella conduzione aziendale con cinque persone: il padre e la madre, i due figli Lorenzo e Alberto e la moglie di Lorenzo (Anastasia). Padre e madre hanno già certamente dato, nei decenni passati, il loro grosso contributo, arrivando a mettere a disposizione dei figli un patrimonio importante, non solo materiale, ma soprattutto di identità e amore per la propria azienda e per il proprio lavoro.
Lorenzo e Alberto, dopo gli studi tecnici agrari, hanno conseguito la laurea triennale in produzioni animali. Questo percorso ha consentito loro di formarsi con una visione aperta alla innovazione. Anastasia, moglie di Lorenzo, fornisce il suo importante contributo nella parte amministrativa e informatica.
Vista l'importante presenza della famiglia, il ricorso a personale dipendente è limitato a due persone fisse e a uno stagionale.

Figura 10.

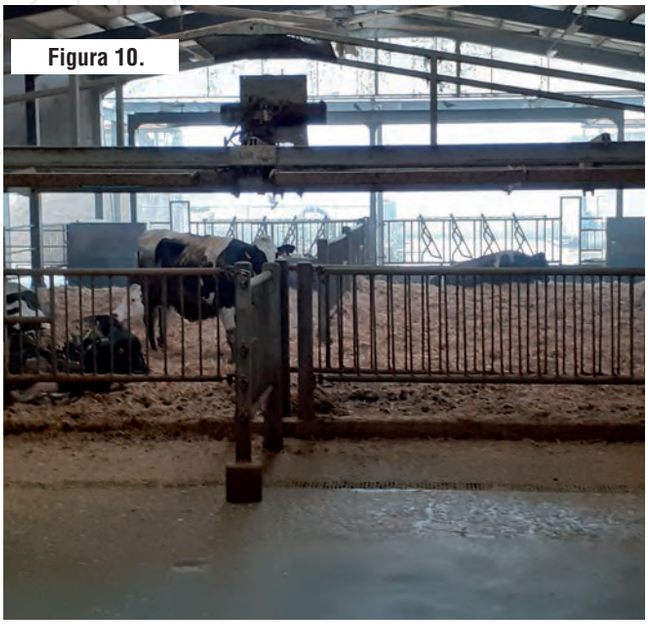


Figura 11.

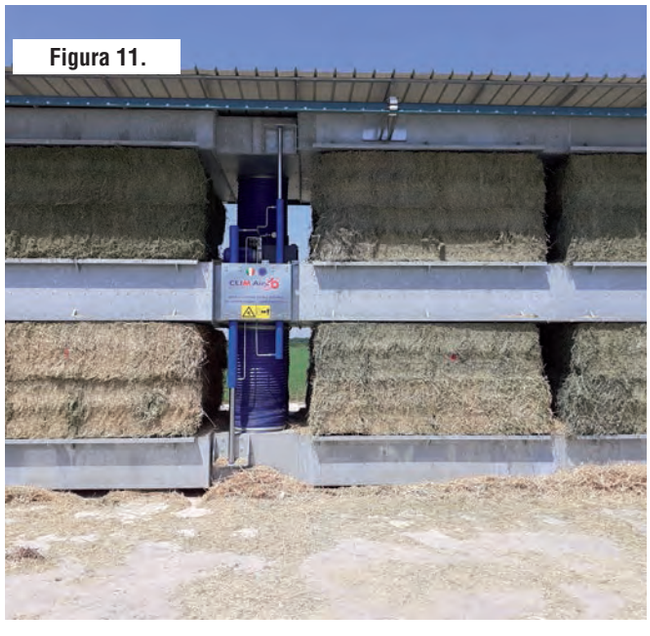


Figura 10. Zona dedicata alle bovine in asciutta all'azienda Verdera.
Figura 11. Sistema di essiccazione foraggi all'azienda Verdera.

L'adeguamento degli edifici aziendali (Figura 10, zona asciutta) ha consentito di arrivare facilmente ad ospitare più di 150 bovine in lattazione su cuccette, una consistenza della mandria in linea con le disponibilità foraggere dai terreni, in gran parte di proprietà, a disposizione. Ricordiamo che siamo nel territorio del Parmigiano Reggiano, elemento che determina una scelta del sistema foraggero senza la presenza di insilati.
Quale logica conseguenza di quanto sopra, la famiglia Donà ha sempre creduto molto nella qualità dei foraggi secchi e, per questa ragione, ha investito in sistemi di essiccazione (Figura 11), adeguando nel tempo non solo l'impianto, ma anche la capacità di monitorarne le prestazioni qualitative e i consumi energetici (come vedremo nella parte specifica del controllo del consumo di energia elettrica).

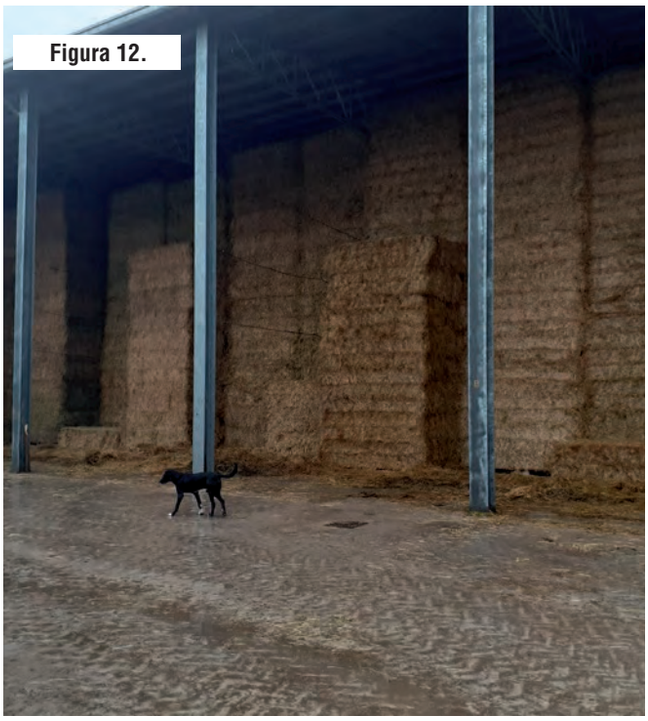


Figura 12. Stoccaggio foraggi all'azienda Verdera.
Figura 13. Zona fieni del settore cucina all'azienda Verdera.

Nella filiera Parmigiano Reggiano, la qualità del foraggio è fondamentale, visti i vincoli posti dal disciplinare. Per questo, le fasi di stoccaggio (Figura 12) prevedono la corretta e ordinata classificazione delle essenze e dei tagli presenti per una piena valorizzazione della componente foraggera. Tale azione (e relativa attenzione da parte della famiglia Donà) prosegue nel conferimento del fieno alla zona fieni del settore cucina (Figura 13), per garantirne il corretto inserimento nella dieta senza perdita di nutrienti alla bocca della bovina. Siamo dunque arrivati a parlare della prima grossa innovazione dell'azienda Verdera: la introduzione di un sistema automatizzato di preparazione e distribuzione della miscelata alle bovine di tutti i gruppi (Figura 14). Il sistema scelto dalla famiglia Donà è del tipo che prevede la installazione di una struttura di travi che si snoda nelle stalle e definisce la possibilità di alimentare i vari gruppi presenti in azienda. Il sistema adottato è in grado di funzionare da spingi-foraggio e, quando il livello di alimento in corsia scende sotto una soglia stabilita, verificata la necessità di preparare una nuova dose di razione per il gruppo di capi che ha bisogno, arriva in zona cucina e si sottopone alla preparazione di una nuova distribuzione. La conferma dell'apprezzamento che l'azienda Verdera ha verso questo tipo di strumentazione l'abbiamo avuta nella decisione, presa verso la fine del progetto, di procedere all'acquisto e installazione di una seconda unità. Nel corso del progetto, i ricercatori del CREA-ZA hanno monitorato le prestazioni del sistema in termini di profilo dimensionale (mediante setacciatura con sistema Penn State Separator) e di macro-componenti (mediante NIR portatile) della miscelata. Certamente, il profilo dimensionale della razione miscelata (**TMR**)

nel sistema Parmigiano Reggiano è meno facile da gestire rispetto agli altri sistemi di alimentazione della bovina da latte; per questo, l'azienda Verdera ricorre all'aiuto dell'azione dell'acqua aggiunta agli altri ingredienti.
Il secondo grande investimento in zootecnia di precisione è quello della adozione di un sistema di analisi NIR del latte di ciascuna bovina ad ogni mungitura (Figura 15). Si tratta certamente di una grossa evoluzione nel monitoraggio in tempo reale delle prestazioni degli animali, in grado di supportare una efficiente prevenzione dei problemi nutrizionali e alimentari. Senza passare in rassegna tutte le possibili indicazioni derivanti da importanti e repentine variazioni nel profilo compositivo del latte individuale delle bovine, ci possiamo soffermare sulla possibilità che la conoscenza della percentuale di grasso e di proteine ad ogni munta fornisce, grazie al calcolo del rapporto tra questi due componenti. Come descritto più in dettaglio in un capitolo successivo, il rapporto grasso: proteina (**G:P**) nel latte è di aiuto a indicare un rischio di chetosi se supera la soglia di 1,4; allo stesso modo, è in grado di mettere in allerta l'allevatore sul rischio di acidosi ruminale quando scende sotto il valore di 1,0. Le principali criticità che l'azienda sta imparando ad affrontare per la gestione e valorizzazione di questo strumento sono:
-la regolarità nella calibrazione del sistema NIR della macchina con il supporto delle analisi eseguite in occasione dei controlli della produttività;
-la corretta gestione statistica dei dati prodotti dall'attività quotidiana, che necessiterebbero di essere valorizzati in un quadro di controllo statistico di processo quale passaggio fondamentale di un sistema di supporto alle decisioni.

L'opportunità del monitoraggio dei consumi di energia elettrica.
Infine, l'innovazione che ha maggiormente caratterizzato l'azienda Verdera all'interno del progetto Latte Digitale è stata certamente la adozione di un sistema di monitoraggio dei consumi di energia elettrica da parte delle diverse attrezzature e strumentazioni varie. I risultati e le considerazioni tecniche derivanti da questo monitoraggio sono stati esposti in un articolo pubblicato sulla rivista Stalle da Latte *(Abeni et al., 2021)*. In questa sede, si vuole sottolineare la lungimiranza dell'allevatore nel comprendere come questo tipo di voce di spesa possa avere ampi margini di ottimizzazione, soprattutto quando intervengono crisi totalmente inattese e imprevedibili quali quella energetica che si è fatta sentire pesantemente nel corso del 2022.

Figura 14.

Figura 15.

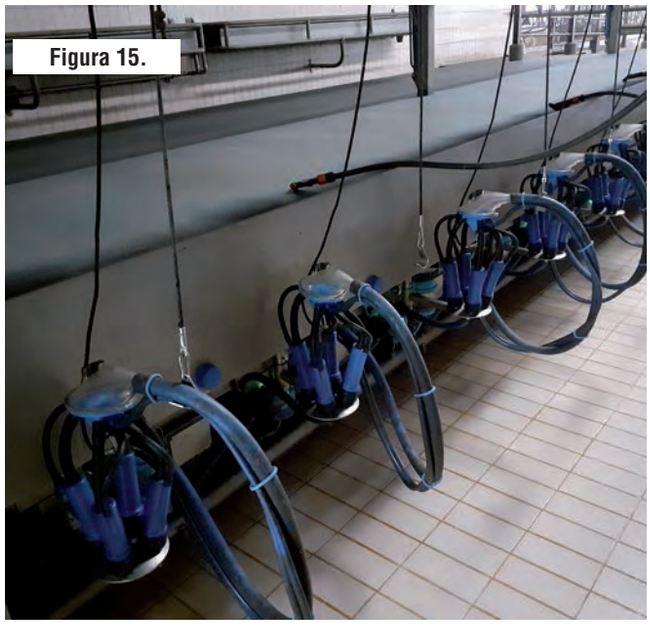


Figura 14. Distribuzione automatizzata della miscelata alle bovine di tutti i gruppi.
Figura 15. Installazioni per la misurazione della produzione e composizione del latte individuale delle bovine.

2. I dati al centro della digitalizzazione a supporto di una zootecnia di precisione

Rosanna Marino - CREA-ZA, Centro di ricerca Zootecnia e Acquacoltura, sede di Lodi

2.1 Gli albori della "Precision livestock farming" e lo sviluppo dei primi sensori

La zootecnia di precisione è una disciplina relativamente nuova che si è sviluppata soprattutto negli ultimi decenni con lo sviluppo tecnologico di diverse tipologie di sensori, in parallelo a sistemi informatici e di analisi dei dati sempre più intelligenti.

Tuttavia, già a partire dai primi anni '70 è possibile individuarne gli albori. Infatti, pur non essendo ancora in uso nessuno dei termini "zootecnia di precisione", "precision livestock farming" o l'acronimo "PLF", la cui introduzione è certamente più recente e può essere fatta risalire ai primi anni 2000, già in quegli anni è possibile ritrovare in letteratura i primi segnali di quella rivoluzione tecnologica che di lì a pochi anni avrebbe rimodellato e profondamente modificato il settore zootecnico della bovina da latte. Grazie allo sviluppo tecnologico in atto in numerosi campi, gli sforzi di alcuni ricercatori, provenienti da diversi paesi del mondo, si concentrarono in quegli anni nello sviluppo dei primi sensori, inizialmente solo in grado di identificare in maniera univoca, accurata, ed economica gli animali in azienda *(Hooven, 1978)*. I risultati di quelle pionieristiche ricerche furono presentati al primo simposio "Cow Identification Systems and their Applications" che si tenne nei Paesi Bassi nel 1976 *(Rossing, 1999)*. Nel lavoro di Rossing del 1999 sono riportate due interessanti fotografie (Figure 1 e 2 del citato articolo) relative ad alcuni dei primi sensori.

A partire da questi primi sensori e con lo sviluppo dei computer e dell'Information Technology (IT), si aprirà poi la strada ad apparecchiature automatizzate sempre più "sofisticate" che, oltre ad identificare, saranno in grado di registrare l'identità delle vacche nella sala di mungitura, misurare la quantità di latte prodotto, analizzare la conducibilità elettrica ed altri parametri di qualità del latte, prelevare automaticamente campioni di latte per analisi di laboratorio. Il progresso della tecnologia permetterà di sviluppare, infatti, sensori di movimento, sensori di temperatura, sensori di conducibilità per rilevare estro, mastite e altri disturbi fisiologici che influenzano le prestazioni e la redditività della vacca *(Rutten et al., 2013)*. In tale contesto non può essere dimenticato il ruolo dello sviluppo e introduzione in aziende commerciali, nella prima metà degli anni '90, del robot di mungitura che certamente fu una rivoluzione nel modo di concepire la gestione quotidiana della stalla. In particolare, il primo robot di mungitura fu installato nei Paesi Bassi nel 1992 *(de Koning, 2011; John et al., 2016)*. Altro importante capitolo è rappresentato dallo sviluppo e dall'applicazione di tecnologie che hanno consentito di prospettare una "alimentazione di precisione", quantomeno in riferimento a gruppi di animali omogenei.

Da un punto di vista pratico, l'introduzione di tecnologie di gestione in stalla, a partire da quelle in grado di identificare in maniera univoca gli animali fino all'automazione delle fasi di mungitura o di alimentazione degli animali, avrebbe consentito all'allevatore di gestire più facilmente il numero di animali presenti, dato che alcune attività potevano essere in parte o in tutto svolte dalle macchine, ma anche di ipotizzare un incremento nel loro numero (elevata flessibilità) senza un eccessivo aumento del lavoro fisico degli addetti in azienda e del costo del lavoro per il titolare *(Hooven, 1978)*. E difatti, quello che poi è accaduto negli anni

successivi è stato un progressivo aumento del numero degli animali in stalla che è andato di pari passo con la riduzione del numero degli allevamenti. Affiancare la tecnologia alle comuni pratiche di gestione della stalla in aziende di grosse dimensioni significava dunque poter intervenire rapidamente in caso di problematiche, salvaguardando la salute e il benessere dei propri animali, ma consentiva anche di poter intensificare e massimizzare la produzione.
Dai primi albori dell'introduzione di tecnologie in stalla, il concetto di PLF si è dunque decisamente evoluto e notevolmente sviluppato. Attualmente una delle definizioni più semplici, ma anche più efficaci, afferma che tramite l'uso di tecnologie di zootecnia di precisione è possibile monitorare in tempo reale tutti gli animali in azienda, in modo che eventuali problemi possano essere subito segnalati all'allevatore, il quale può immediatamente agire, o che si possano attivare degli automatismi per risolvere il problema segnalato. Accorciare le tempistiche nell'affrontare le problematiche ha ricadute positive sulla salute, sul benessere, sullo stato produttivo e riproduttivo degli animali, ma anche in termini di impatto ambientale *(Berckmans, 2017)*.

2.2 La rivoluzione dei dati e il concetto di informazione

Il concetto di dato si riferisce a una singola unità di informazione grezza, come ad esempio un numero o una parola, ma anche immagini, grafici, filmati, suoni o semplici osservazioni di fatti o eventi. I dati possono essere generati da persone, sensori, macchine e/o qualsiasi altro dispositivo che sia in grado di produrli, e possono essere replicati indefinitamente e trasportati ovunque, in modo rapido ed economico attraverso la rete. Esempi di dati potrebbero essere il peso di un animale o la quantità di latte prodotta, ma anche la temperatura di un ambiente o il numero di ore di lavoro di un dipendente. I dati possono essere raccolti e registrati in tabelle o database, ma in sé non hanno alcun significato o valore se non vengono analizzati e contestualizzati. In particolare, nel settore zootecnico, il monitoraggio continuo degli animali e/o dell'ambiente in cui questi vivono, mediante l'uso di sensori applicati sull'animale o collocati in sala di mungitura o in altri luoghi dell'azienda, genera quotidianamente una grande massa di misure/dati dalla natura più o meno complessa, eterogenea e variabile nel tempo. Tali dati vengono opportunamente immagazzinati nella memoria dei computer di stalla, o più spesso in *cloud*, e solo dopo essere stati analizzati tramite metodi, modelli matematici, algoritmi possono fornire le necessarie informazioni all'allevatore per risolvere specifici problemi o raggiungere determinati obiettivi.
I flussi di dati grezzi o parzialmente pre-elaborati possono provenire sia da dispositivi singoli che da insiemi di sensori collegati in reti più o meno complesse, e vengono registrati in continuo e storicizzati all'interno di database. A seconda del parametro misurato, la rilevazione della misura/dato può avvenire con una tempistica di registrazione differente, generando così flussi di dati diversi in termini di volume. Solo a titolo esemplificativo, pensiamo alle differenze nella registrazione dei dati di ruminazione, attività motoria, flusso e produzione di latte o peso dell'animale. I dati della ruminazione delle bovine o della attività motoria sono rilevati numerose volte durante tutto l'arco della giornata (ad intervalli diversi a seconda della ditta costruttrice del sistema di rilevazione), mentre la produzione di latte, il flusso, la conducibilità elettrica, il numero delle cellule ecc. sono rilevati solo durante le fasi della mungitura; il peso, invece, è di solito misurato una o al massimo due volte al giorno.
È importante chiarire che i termini "dato" e "informazione" non sono sinonimi, ma che solo una corretta organizzazione, pulizia, analisi ed elaborazione delle misure registrate dai sensori può arricchire i dati stessi di significato e fornire gli strumenti necessari all'allevatore per prendere le corrette decisioni o per far scattare gli opportuni automatismi. L'informazione è dunque il risultato dell'elaborazione e contestualizzazione dei dati. Si tratta di una rappresentazione significativa e organizzata dei dati che può essere utilizzata per comprendere meglio una situazione o per prendere decisioni. L'informazione è quindi qualcosa di più di un semplice insieme organizzato di dati, poiché include anche il contesto e il significato

di questi ultimi. Ad esempio, il peso di un animale potrebbe non essere particolarmente importante da registrare se considerato come singolo dato, ma se viene confrontato con il peso ideale per quella specie e per quell'età, oppure considerato nel contesto di dati storici, può diventare un'informazione utile per valutare ad esempio l'accrescimento e la salute dell'animale. Infine, si può parlare di conoscenza o consapevolezza quando si raggiunge la comprensione e il significato profondo delle implicazioni di una informazione, mediate anche dall'esperienza personale. Questo livello di conoscenza richiede l'analisi e il ragionamento sull'informazione disponibile e implica la capacità di prendere decisioni basate su questa comprensione (Figura 1).

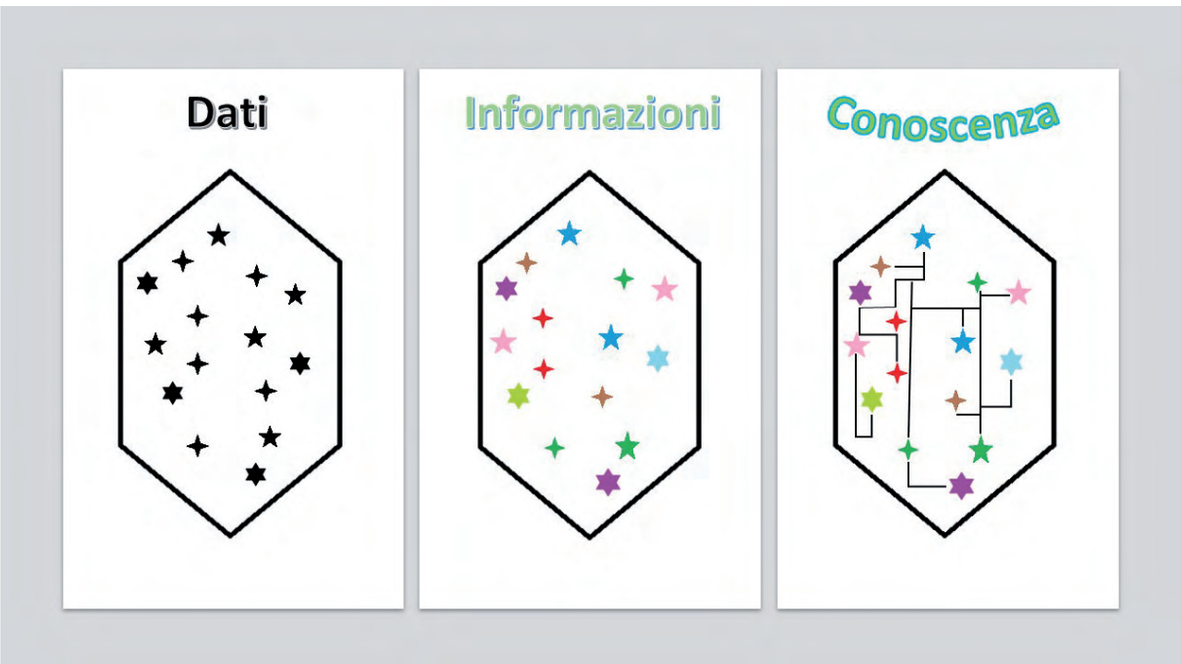


Figura 1. Concetto di dato, informazione e conoscenza.

2.3 Importanza dell'integrazione tra sistemi diversi

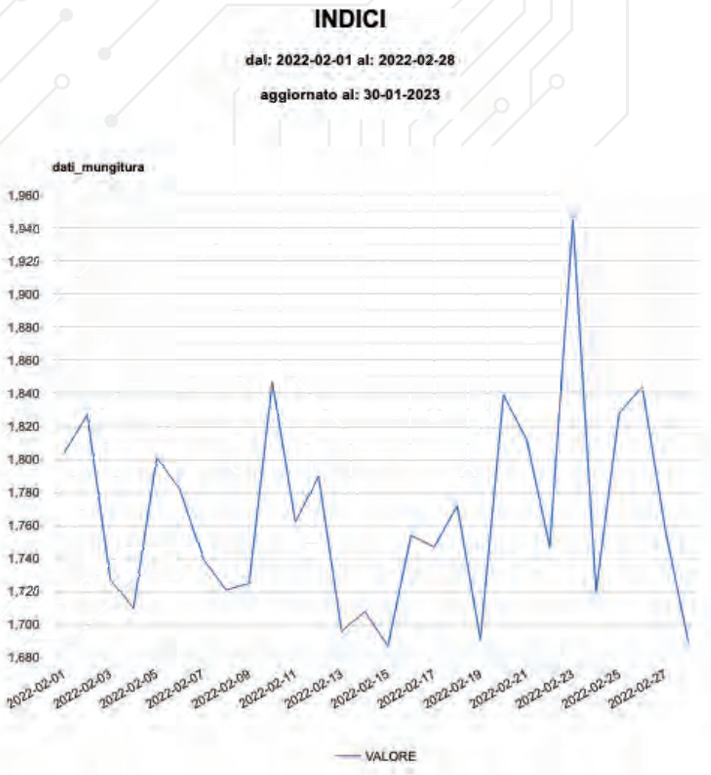
Grandi quantità di dati vengono dunque generati quotidianamente dai sistemi di zootecnia di precisione nelle aziende zootecniche di tutto il mondo e archiviati molto spesso senza un modello standardizzato, che consenta di condividerli e valorizzarli al massimo; archivi di dati, solo in parte sfruttati, che rischiano di finire nel dimenticatoio senza una vera valorizzazione. Solo l'integrazione di tutti i dati raccolti può consentire di ottenere informazioni dettagliate sulla salute, il benessere e la produzione degli animali, nonché sull'efficienza e la sostenibilità delle pratiche aziendali. L'analisi dei dati provenienti da fonti diverse, mediante appropriati algoritmi, può consentire di individuare relazioni e modelli che potrebbero non essere evidenti dai singoli dati isolati; infatti, la capacità predittiva dei modelli matematici è maggiore quando le variabili considerate sono più di una. Ad esempio, l'integrazione dei dati sulla produzione di latte delle bovine con i dati sulla qualità e quantità di foraggio assunta, tenendo in considerazione anche l'età, la fase di lattazione e il numero di parti degli animali, può aiutare a identificare i fattori che influiscono sulla produzione stessa e a prendere decisioni informate sulla gestione degli animali. Inoltre, se ai dati

VALORE: dati_mungitura

DATA	VALORE
2022-02-01	1804
2022-02-02	1827
2022-02-03	1727
2022-02-04	1710
2022-02-05	1801
2022-02-06	1752
2022-02-07	1740
2022-02-08	1721
2022-02-09	1725
2022-02-10	1847
2022-02-11	1782
2022-02-12	1790
2022-02-13	1695
2022-02-14	1708
2022-02-15	1687
2022-02-16	1754
2022-02-17	1747
2022-02-18	1772
2022-02-19	1691
2022-02-20	1839
2022-02-21	1812
2022-02-22	1747
2022-02-23	1945
2022-02-24	1720
2022-02-25	1828
2022-02-26	1844
2022-02-27	1757
2022-02-28	1689

VALORE: INDICE 1

DATA	VALORE
2022-02-01	0.553
2022-02-02	0.7457
2022-02-03	0.5505
2022-02-04	0.4978
2022-02-05	0.6217
2022-02-06	0.5257
2022-02-07	0.6374
2022-02-08	0.5089
2022-02-09	0.5152
2022-02-10	0.655
2022-02-11	0.5889
2022-02-12	0.6027
2022-02-13	0.567
2022-02-14	0.6004
2022-02-15	0.5084
2022-02-16	0.5173
2022-02-17	0.5395
2022-02-18	0.532
2022-02-19	0.4968
2022-02-20	0.5519
2022-02-21	0.5577
2022-02-22	0.5265
2022-02-23	0.6613
2022-02-24	0.4671
2022-02-25	0.4753
2022-02-26	0.4845
2022-02-27	0.6382
2022-02-28	0.4007



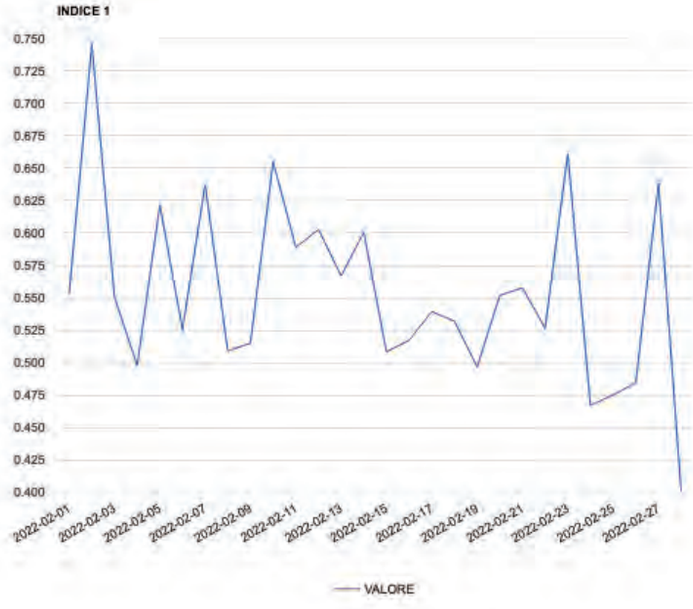


Figura 2. Esempio di ottenimento di un indice di efficienza derivante dalla combinazione di due dati ottenibili in allevamento da strumentazioni differenti e non tra loro connesse.

di produzione e di alimentazione delle bovine si possono integrare anche i dati di ruminazione e attività motoria, nonché la lista degli eventi sanitari degli animali, diventa possibile identificare in maniera puntuale e con un certo anticipo eventuali problemi mediante un sistema di allerta precoce.
L'integrazione dei dati permette dunque di ottenere una comprensione più ampia e dettagliata di un argomento o di un fenomeno, il che può aiutare a prendere decisioni informate e a risolvere problemi complessi. L'integrazione dei dati in zootecnia di precisione richiede tuttavia lo sviluppo e l'utilizzo di software specifici in grado di gestire e analizzare grandi quantità di dati stessi. Questi software devono generare report e *dashboard* in grado di fornire una panoramica delle attività aziendali e dei risultati ottenuti, allerte o allarmi di facile visualizzazione per l'allevatore e che addirittura potrebbero innescare automatismi in casi particolari, come ad esempio l'accensione dei sistemi di raffrescamento in condizioni di stress da elevate temperature ambientali.

In Figura 2 riportiamo un importante esempio di come sia possibile, come fatto nel progetto Latte Digitale, collegare due dati provenienti da strumentazioni diverse per avere una informazione utile quale l'indice di efficienza di trasformazione dell'alimento in latte. A titolo di esempio, nella prima immagine si riporta la produzione di latte del gruppo di bovine come acquisita dal sistema di mungitura, mentre nella seconda immagine si riporta il risultato del rapporto tra il valore precedente e quello ottenuto dal sistema di alimentazione adottato in azienda, sempre per lo stesso gruppo di bovine. Per un'agevole (e standardizzata) lettura del dato, il valore va poi corretto dividendolo per l'indice di sostanza secca della razione effettivamente monitorato sul campo (generalmente in modo rapido con un sistema NIR) lo stesso giorno, per poi confrontarlo con i valori di riferimento di efficienza alimentare per la trasformazione a latte per la tipologia di animali presenti nel gruppo (primipare o pluripare, inizio o fine lattazione).

2.4 Perché siamo ancora lontani dal raggiungimento di una completa integrazione dei dati di PLF?

Integrare dati provenienti da sensori diversi in un'azienda zootecnica può essere difficile per diversi motivi. Uno dei principali ostacoli è che i dati possono essere raccolti in formati diversi e utilizzare standard di codifica differenti, il che rende difficile unirli e analizzarli insieme. Infatti, i sensori basati su tecnologie differenti e prodotti da diversi fornitori spesso utilizzano protocolli di comunicazione e formati di dati differenti, rendendo più complesso il processo di integrazione. Anche la qualità dei dati raccolti dai sensori può variare a causa di problemi di precisione, attendibilità o completezza; ciò può renderne difficile l'integrazione, con affidabilità differente, per prendere decisioni accurate.
Per risolvere questi problemi, è possibile selezionare sensori compatibili e utilizzare strumenti di integrazione che possono gestire diverse fonti e tipi di dati. Tuttavia, è necessario prestare attenzione alla qualità dei dati raccolti e assicurarsi che siano accurati e affidabili. Potrebbe essere utile utilizzare metodi di pulizia e validazione per garantire che i dati siano utilizzabili per l'analisi. È possibile utilizzare piattaforme di integrazione o strumenti di trasformazione dei dati per convertirli in un formato comune e unificarli in un'unica base. Inoltre, l'utilizzo di un sistema di gestione centralizzato può rendere più facile l'integrazione e l'analisi dei dati provenienti da diversi sensori. Un altro modo per rendere più facile l'integrazione è quello di lavorare con fornitori di sensori che utilizzano tecnologie compatibili e forniscono essi stessi strumenti per l'integrazione dei dati; in questo modo, sarà possibile raccoglierli e utilizzarli in modo più efficiente e facile.
La completa integrazione dei dati zootecnici è quindi un obiettivo molto interessante, perseguito già da diversi anni *(Parsons and Randle, 1993)*, ma di difficile raggiungimento; tuttavia, è un'area in rapida evoluzione con numerosi sviluppi interessanti in corso. Alcune delle principali tendenze in atto sono l'utilizzo delle tecnologie di *Internet of Thing* (IoT) e l'utilizzo dell'intelligenza artificiale per analizzare i dati

zootecnici e ottenere le informazioni utili alla gestione dell'azienda *(da Rosa Righi et al., 2020; Fuentes et al., 2022)*. Ad esempio, è possibile utilizzare algoritmi di *machine learning* per prevedere la produttività degli animali o il rischio di malattie, o per identificare pattern nascosti nei dati, il tutto con l'obiettivo di poter agire con azioni tempestive e utili. Nel raggiungimento di un buon livello di integrazione dei dati zootecnici, oltre ai problemi tecnici da affrontare come la scelta degli strumenti e delle tecnologie più adeguate, ci sono altre problematiche da risolvere e che non vanno dimenticate, come la sicurezza informatica dei dati, la proprietà degli stessi e delle informazioni da essi ottenute.

Alla fine del libro sono riportati alcuni riferimenti bibliografici sulla storia dei primi sensori, sul ruolo e l'integrazione dei dati provenienti dai sistemi di zootecnia di precisione *(Schuetz et al., 2018; Abeni et al., 2019; Marino, 2019; Cabrera and Fadul-Pacheco, 2021; Marino e Abeni, 2021)*; letture certamente non esaustive, visto che l'argomento è in continua evoluzione, ma che potrebbero essere utili per ulteriori approfondimenti.

3. Digitalizzazione e zootecnia di precisione: dalla gestione riproduttiva al controllo della salute

Francesca Petrera - CREA-ZA, Centro di ricerca Zootecnia e Acquacoltura, sede di Lodi

3.1 Introduzione

Entro il 2050 si prevede un aumento della popolazione a livello mondiale fino a oltre 9 mld di persone, accompagnato da un incremento del reddito pro-capite e del potere d'acquisto nei Paesi in via di sviluppo *(FAO, 2011)*. Di conseguenza, le attività agricole, per poter rispondere alla maggior domanda di alimenti, in particolare di fonti proteiche di origine animale, dovranno *trasformarsi*. Questo processo dovrà tenere, però, in debita considerazione anche le crescenti preoccupazioni da parte dell'opinione pubblica su temi quali: l'ambiente, la salute e il benessere animale. La **competitività** delle aziende agricole in futuro dipenderà molto dalla loro capacità di adeguarsi (anche) alle esigenze dei consumatori, oltre che ai cambiamenti climatici e alle più recenti crisi politiche, che avendo un forte impatto economico sul comparto primario (a causa dei continui aumenti dei costi di produzione, in termini di energia e mano d'opera), determinano sempre più forti pressioni sui margini di profitto.
La grande sfida del settore sarà (ma lo è già) *massimizzare*, cioè produrre di più, con meno (risorse). Questo vuol dire saper gestire in modo più efficiente e sostenibile acqua, terreni e materie prime, non potendo aumentare la terra disponibile o il numero degli animali da allevare.
Poiché le componenti socio-economiche e ambientali sono strettamente connesse tra di loro, cercheremo di valutare il **potenziale** ruolo che **l'innovazione** tecnologica e la digitalizzazione possono offrire a supporto della *sostenibilità*.
La ricerca mira ad utilizzare le tecnologie per migliorare l'efficienza degli allevamenti (ridurre le perdite economiche), mettere a punto **strategie** di prevenzione delle patologie, riducendo le ore di lavoro in stalla (a favore del lavoro da dedicare alla gestione e all'analisi dei dati) e consentendo il riconoscimento precoce delle stesse anche per rispondere alla richiesta di limitare l'uso degli antibiotici per diminuire il rischio di sviluppo dell'antimicrobico resistenza. Quest'ultimo rappresenta un problema sanitario complesso e crescente nell'UE e in tutto il mondo, con gravi conseguenze per la salute pubblica e la sanità animale e un elevato impatto economico per la società. C'è una forte attenzione da parte dei consumatori sull'impiego degli antibiotici in zootecnia e sulla necessità di ridurre l'impatto ambientale attraverso la diminuzione dei loro residui nelle acque e nei prodotti animali, in un'ottica *One Health*.

3.2 L'allevamento bovino da latte in Italia

Per capire quanto e come sia cambiato l'allevamento in Italia, in particolare quello della bovina da latte, possiamo prendere in considerazione i **bollettini** dei controlli ufficiali dell'AIA (bollettino on line dell'Associazione Italiana Allevatori, www.aia.it). Analizzando i dati dell'ultima annualità presente (2020-2021), vediamo che sono state sottoposte ai controlli funzionali 1.417.548 bovine (1.031.352 lattazioni

chiuse) in 14.913 allevamenti italiani (una media di 95 capi per azienda); di queste ben 1.130.734 sono di razza Frisona Italiana (distribuite in 9.552 aziende e con una media nazionale pari a 118 capi).
Se consideriamo i dati disponibili dal 1967 al 2021, possiamo subito notare come in quest'arco di tempo (abbastanza breve) si siano verificati notevoli cambiamenti. Da una parte c'è stato un aumento importante sia della produzione di latte per vacca (più che raddoppiata, grazie ai progressi scientifici raggiunti nel campo della genetica, della riproduzione e dell'alimentazione) che del numero di capi allevati e, dall'altra, una riduzione progressiva del numero di aziende (rispetto ai 270.850 animali controllati in circa 25.000 allevamenti del 1967). Gli allevamenti bovini, infatti, sono andati incontro a profonde trasformazioni da un punto di vista strutturale e gestionale che, grazie alla diffusione della meccanizzazione e dell'automazione (progressi tecnici e tecnologici) delle operazioni riguardanti, principalmente, la mungitura, la preparazione e distribuzione degli alimenti al bestiame, fino alla gestione delle deiezioni e al controllo del microclima, hanno favorito l'aumento delle dimensioni aziendali e la riduzione del personale addetto alla stalla. Purtroppo, però, l'aumento notevole del rapporto numerico tra vacche allevate e operatori ha determinato l'inevitabile perdita del rapporto diretto tra animale e uomo, con il progressivo peggioramento delle prestazioni riproduttive e sanitarie delle vacche da latte, la riduzione della vita media (numero di parti) delle bovine e forti ricadute economiche.
Osserviamo ora i dati disponibili per la regione **Lombardia**: su 617.914 capi sottoposti nel 2020-2021 ai controlli funzionali (distribuiti in 3.250 aziende, con una media di 190 capi ciascuna), la razza Frisona rappresenta circa il 92% delle vacche totali. Considerando, quindi, le 566.583 Frisone e le 410.581 lattazioni chiuse (in 2.759 allevamenti, con una media di 205 vacche per azienda), osserviamo per questi capi: nel corso dell'annata l'88 % di giorni in mungitura, il 38 % di capi entrati e il 32 % di capi usciti (con 177 e 143 giorni in mungitura, rispettivamente), l'età media al parto di tutte le controllate di tre anni e sei mesi, con le primipare che rappresentano oltre il 41% delle presenti.
A fronte di **produzioni** medie molto elevate, che per le controllate sono risultate pari a 11.056±2.479 kg di latte con il 3,90% di grasso e il 3,38% di proteine in 310±33 giorni medi di mungitura effettiva (i valori migliori si sono osservati nelle vacche della categoria tra 4 e 5 anni di età, che rappresentano però solo il 16% delle presenti, con 11.399 kg di latte, 3,82% di grasso e 3,34% di proteine), negli ultimi decenni si è osservato un graduale peggioramento delle prestazioni **riproduttive**. I valori degli indicatori presi in esame, sono ancora lontani dagli obiettivi considerati ottimali e mostrano un progressivo peggioramento all'avanzare della categoria per età: dall'età media al primo parto (due anni e due mesi), all'intervallo medio parto-concepimento (150 giorni, variando da 142 gg per le vacche fino a tre anni a 168 gg per quelle di oltre cinque anni di vita), fino al numero medio di inseminazioni per concepimento (2,6 interventi fecondativi, passando da 2,5 a 2,9 in base alla categoria), sottolineano la necessità di migliorare le prestazioni riproduttive dei capi, anche attraverso una maggiore attenzione al benessere della mandria. L'ipofertilità rappresenta ancora una importante causa di riforma involontaria. Aumentare la **longevità** degli animali rappresenta la principale sfida del comparto bovino da latte. Raggiungendo l'obiettivo, ad esempio, di tre lattazioni medie per la mandria, rispetto alle attuali 2,3, si ridurrebbe il numero di capi da allevare (rimonta) e di conseguenza diminuirebbero i costi produttivi *(Cozzi, 2019)*. All'aumentare delle dimensioni aziendali occorre prestare particolare attenzione non solo alla gestione degli aspetti produttivi, ma anche di quelli riproduttivi e sanitari della mandria; infatti, le principali cause di ipofertilità della bovina sono di tipo gestionale: non riconoscimento dei capi in calore o fecondazione artificiale (FA) effettuata nel momento non ottimale.
Assicurare alti livelli di benessere animale permette di avere produzioni elevate e di qualità; aspetti strettamente connessi tra di loro e con la sicurezza alimentare, contribuendo alla salute pubblica e alla sostenibilità ambientale. Occorre, infatti, considerare la stretta relazione tra la **gestione** aziendale, in termini di ambiente e di strutture di allevamento (adeguate ad assicurare un riposo ottimale ed evitare stress da gerarchie, sovraffollamento e caldo), di personale addetto (che deve essere in numero sufficiente a monitorare gli animali e qualificato) e di **alimentazione** (in termini di qualità e quantità degli alimenti somministrati, per assicurare la copertura dei fabbisogni, garantire adeguati livelli di ingestione e ruminazione e la corretta funzionalità del sistema immunitario) e le **prestazioni** produttive, riproduttive e sanitarie.

3.3 Le Tecnologie di Zootecnia di Precisione

Monitorare continuamente la mandria è importante per valutare possibili variazioni dello stato di salute e di benessere, rilevare le bovine in estro da fecondare o che necessitano di assistenza al parto. L'osservazione diretta degli animali è, però, un lavoro che richiede tempo e **personale** qualificato e con esperienza risultando, quindi, molto impegnativo. All'aumentare del numero dei capi presenti in stalla, è sempre più difficile riuscire a monitorare visivamente tutti gli animali o, comunque, disporre prontamente di informazioni riguardanti, ad esempio, l'ora di inizio del calore, di raggiungimento del picco e la sua durata, per effettuare la FA al momento ottimale, o i tempi di ruminazione, ingestione e riposo giornaliero, per riconoscere precocemente eventuali errori di alimentazione, individuare le bovine a rischio di malattie metaboliche, infettive, etc.

Con il termine zootecnia di precisione (**ZdP**) si intende l'utilizzo in allevamento di un sistema di tecnologie e sensori che misurano in automatico e in continuo alcuni parametri, che rappresentano utili indicatori *fisiologici, comportamentali e produttivi*, consentendo di monitorare e riconoscere, con livelli molto diversi di sensibilità (**Se**) e specificità (**Sp**) eventi fisiologici (come estri, gravidanze e parti), possibili stati patologici ed errori gestionali (es. mastiti, zoppie, chetosi, stress da sovraffollamento o da caldo, etc.), offrendo un valido supporto all'allevatore. I dati misurati (principalmente) sull'animale (es. tempi di attività, riposo, ruminazione) o sul latte (produzione e contenuto in alcuni componenti), sono analizzati mediante specifici software che valutano eventuali deviazioni (aumenti o riduzioni significative di uno o più parametri) rispetto ai valori considerati normali per quell'animale (i dati medi rilevati entro un arco temporale, ad es. i 10-15 giorni precedenti) o a soglie prestabilite di attenzione (come valori o percentuali) e, poi, trasformati in informazione per l'utilizzatore: bovine in allarme (inviati ai vari *device*) o in liste di attenzione riguardanti lo stato di salute, nutrizionale o riproduttivo (con relativa percentuale di rischio), disponibili con un certo anticipo rispetto all'insorgenza delle manifestazioni tipiche dell'evento previsto. Alcuni algoritmi possono combinare i dati dei cambiamenti comportamentali con i dati della produzione quali-quantitativa del latte, se il sistema gestionale riceve e analizza i dati da diversi sensori. Nel caso di situazioni che possono determinare variazioni dei parametri monitorati (ad esempio, i cambi di gruppo, i parti, le vaccinazioni, gli interventi veterinari e di mascalcia), possono essere impostati dei filtri per evitare *falsi allarmi*.

L'allevatore, attraverso la **consultazione** dei dati generati dalle tecnologie presenti in stalla ed elaborati dal modello (o algoritmo), sotto forma di grafici o tabelle, può conoscere in ogni momento l'efficienza produttiva e il livello di benessere di ogni animale della sua mandria. Attraverso, poi, la combinazione delle numerose informazioni disponibili in azienda, da più fonti dati (solo alcuni software sono in grado di utilizzarle in automatico, offrendo un miglior supporto), il moderno allevatore può mettere in pratica azioni di diverso tipo e prendere delle decisioni sulla singola bovina segnalata o sul gruppo. L'operatore, in tal modo, concentra l'attenzione solo sugli animali che necessitano di interventi più o meno immediati, come visite cliniche, esami di laboratorio o trattamenti farmacologici, e può anche monitorarne gli effetti nel tempo.

Rispetto alla complessità dei dati rilevati dai dispositivi in grado di misurare numerosi parametri al giorno per ogni animale e ad ogni mungitura, la consultazione delle informazioni è abbastanza semplificata e intuitiva, ma è bene sottolineare che i software per fornire indicazioni corrette devono essere continuamente aggiornati sui principali eventi riguardanti le bovine (parti, fecondazioni, diagnosi di gravidanza, messa in asciutta, cambi di gruppo, trattamenti e terapie, etc.), eventualmente anche sulla gestione dei gruppi e sui cambi di razione.

3.4 Le tecnologie presenti nelle stalle e la loro diffusione

Lo sviluppo e l'implementazione delle tecnologie zootecniche, iniziato per migliorare le prestazioni produttive e riproduttive, si è poi indirizzato verso il monitoraggio delle principali problematiche che, oltre all'ipofertilità, condizionano le performance, il benessere e la longevità delle vacche, come mastiti, patologie metaboliche e podali.

Il controllo automatico dei parametri **comportamentali** per migliorare lo stato riproduttivo (e di benessere) può essere effettuato attraverso l'uso di sensori installati direttamente sulle bovine, a livello di collo, orecchio o arto (attività motoria e tempi di riposo), ma anche di groppa (riflesso di immobilità alla monta). I dispositivi utilizzati per controllare i parti prevedono sensori di attività installati a livello della coda o sonde di temperatura da inserire a livello vaginale. Altri sistemi prevedono il monitoraggio della temperatura e del pH a livello reticolo/ruminale. Tutti questi dispositivi monitorano i parametri sull'animale in continuo, anche durante il periodo non produttivo (manze e asciutte).

I pedometri (o podometri) rappresentano la tipologia di dispositivi installati sulle bovine a livello di arto (anteriore o posteriore), più conosciuta. Rispetto ai primi modelli commercializzati negli anni '90, rappresentati da semplici contapassi meccanici che trasmettevano al software i dati raccolti attraverso l'antenna presente in sala di mungitura (quindi solo due volte al giorno), i sistemi più recenti utilizzano la tecnologia degli accelerometri 3D, sensori di accelerazione in grado di rilevare i movimenti dell'animale sui tre assi. La combinazione dei dati misurati dai sensori rende possibile monitorare le diverse attività effettuate dalla bovina, fornendo, quindi, informazioni in termini di: numero di passi effettuati e di riposi giornalieri, tempo trascorso camminando, in piedi e sdraiata.

Gli **accelerometri** 3D installati sul collo (tramite collari) o sul padiglione auricolare (tramite marche o tag auricolari), possono invece monitorare, oltre all'attività motoria (come tempi, numero di movimenti e intensità, alta, media o bassa), anche i tempi di ruminazione, alimentazione, inattività o riposo, e addirittura di iperventilazione per stress da caldo. I dati sono utilizzati per riconoscere i calori, monitorare lo stato di salute e di benessere dell'animale e del gruppo. Questi dispositivi immagazzinano i dati trasformati dal processore nella memoria interna, li inviano a cadenza variabile, via wireless ai vari ricevitori presenti in stalla e da questi arrivano al server aziendale (o in *cloud*), dove sono analizzati attraverso gli algoritmi.

A questi sistemi possono essere associate altre tecnologie per consentire la geo-localizzazione (GPS), la misurazione della temperatura corporea o l'identificazione (ISO) delle bovine (nell'auto-alimentatore e in mungitura, per poter separare in automatico, per mezzo di cancelli elettronici, le bovine con allerta calore o salute e fecondarle o visitarle in un'area di separazione o in infermeria).

Tra gli altri sensori presenti sul mercato, abbiamo quelli installati nell'ambiente tra cui: le pese (associate ai sistemi di mungitura automatizzata o agli autoalimentatori), le termocamere e le telecamere 2D e 3D (che monitorano la temperatura corporea, la presenza degli animali nelle aree di allevamento, i problemi di zoppia, le variazioni di peso o della condizione corporea), i microfoni (che riconoscono le patologie respiratorie etc.).

Riguardo invece le tecnologie in grado di monitorare i parametri sul **latte**, il loro progresso ha contribuito enormemente all'evoluzione dei sistemi di mungitura: in circa due secoli si è assistito al passaggio dalla mungitura manuale (*o tradizionale*) a quella meccanizzata (*o convenzionale*), con lo sviluppo di sale e giostre rotative sempre più performanti, fino ad arrivare alla vera *rivoluzione* del settore con l'introduzione della mungitura automatizzata (o robotizzata), che continua a diffondersi negli allevamenti bovini. Grazie a sensori sempre più sofisticati è possibile monitorare (anche a livello di quarto) non solo le produzioni, ma anche le alterazioni chimico-fisiche del latte, per consentirne la separazione automatica quando non idoneo al consumo e riconoscere le patologie mammarie da trattare, per sopperire alla mancanza del personale nella mungitura automatizzata o dare supporto nelle sale e rotative ad elevata capacità, nonchè alcuni indicatori dello stato di salute, riproduttivo e nutrizionale dell'animale.

Le tecnologie più diffuse (lattometri) consentono di riconoscere l'animale, rilevare e registrare l'ordine di entrata e di attacco delle bovine all'interno della stessa fila, eventuali irregolarità operative (attacchi e stacchi in manuale, scalci, riattacchi, mungiture incomplete, ecc.), la produzione totale, la velocità di

flusso (o di eiezione) e la durata della mungitura a livello di quarto (nei robot) o di mammella (mungitura convenzionale) ad ogni sessione. Queste semplici informazioni ci consentono di monitorare efficacemente non solo le prestazioni produttive, utili ai fini della valutazione dello stato di salute (segnalando un eventuale calo di produzione o una cattiva partenza della curva di lattazione dopo il parto) e dell'adeguatezza degli apporti della razione, ma anche la qualità del lavoro o "routine" di mungitura da parte del personale (curve bimodali, sovra-mungitura, tempi morti o di inattività eccessivi) rappresentando un supporto alla gestione della mandria e indirizzando verso possibili interventi o modifiche necessarie a coniugare la dimensione della sala di mungitura con quella della mandria e del numero di operatori addetti alla mungitura o le prestazioni dei robot, in termini di mungiture medie per vacca, ecc..

Associati ai primi, possiamo trovare gli **analizzatori** del latte automatizzati; sono dispositivi utilizzati per monitorare a livello di mammella o di quarto e secondo metodiche analitiche (tecniche) diverse, importanti parametri indicatori di alterazioni chimico-fisiche del latte o di processi infiammatori della mammella: conducibilità elettrica (CE), colore (o presenza di sangue o colostro), temperatura, contenuto di cellule somatiche (CCS), attività dell'enzima lattato-deidrogenasi (LDH) e lattosio. Altri componenti come il contenuto in grasso, proteina, beta-idrossibutirrato (BHB), urea e progesterone (P4), ci offrono informazioni su eventuali problemi nutrizionali (rischio di chetosi o acidosi), bilanciamento della razione tra energia e proteine o sullo stato riproduttivo, a supporto della gestione.

Gli analizzatori automatizzati del latte possono essere di due tipi: *in line* ed *on line*. Il primo analizza in continuo il latte durante la mungitura (non necessità di campionare) e senza l'utilizzo di reagenti, come nel caso dell'analisi dei contenuti in grasso, proteine e lattosio, del colore e della CE. Il secondo tipo prevede la raccolta automatica (secondo un modello) e poi l'analisi mediante reagenti e misurazione del prodotto di reazione, di un campione di latte rappresentativo della mungitura, come nel caso degli altri parametri sopra menzionati.

3.5 Stato riproduttivo e di salute

Le bovine nel periodo periestrale (prima dell'ovulazione) mostrano alcuni tipici **cambiamenti** fisiologici, comportamentali e ormonali, tra i quali l'immobilità alla monta (il segno più tipico utilizzato per l'osservazione diretta, metodo tradizionale), l'aumento (variabile) dell'attività motoria, la riduzione del tempo di alimentazione e ruminazione e il crollo del livello dell'ormone P4 a livello ematico e nel latte, che, come vedremo, possono essere tutti rilevati e misurati automaticamente attraversi i sensori.

Se l'algoritmo che analizza i dati registrati dal sistema di sensori rileva una **deviazione** di uno o più indicatori misurati (aumento dell'attività motoria, eventuale riduzione della ruminazione oltre una certa soglia), considera la bovina in allerta calore, segnalando anche eventuali bovine sospette (variazioni sottosoglia). L'allevatore esegue, quindi, una verifica attraverso l'esame accurato dei grafici, controllando gli andamenti dei parametri misurati, per valutare la qualità del calore, la regolarità degli intervalli con i calori precedenti e l'intensità (picco) dell'estro, per decidere se e quando effettuare la FA (Figura 1). Sulle tempistiche, può disporre anche della finestra di inseminazione che calcola e indica il momento ottimale per la sua effettuazione al fine di massimizzare le probabilità di concepimento. La disponibilità (solo per alcuni modelli) del sistema di localizzazione consente di conoscere la posizione della bovina in tempo reale, facilitando ulteriormente la ricerca della vacca da fecondare (o controllare) in stalla, ma anche di monitorare i percorsi effettuati tra le varie aree della stalla (zone di riposo, di alimentazione, di abbeverata, passaggi) o al pascolo, offrendo informazioni di supporto alla valutazione del benessere del singolo e della mandria.

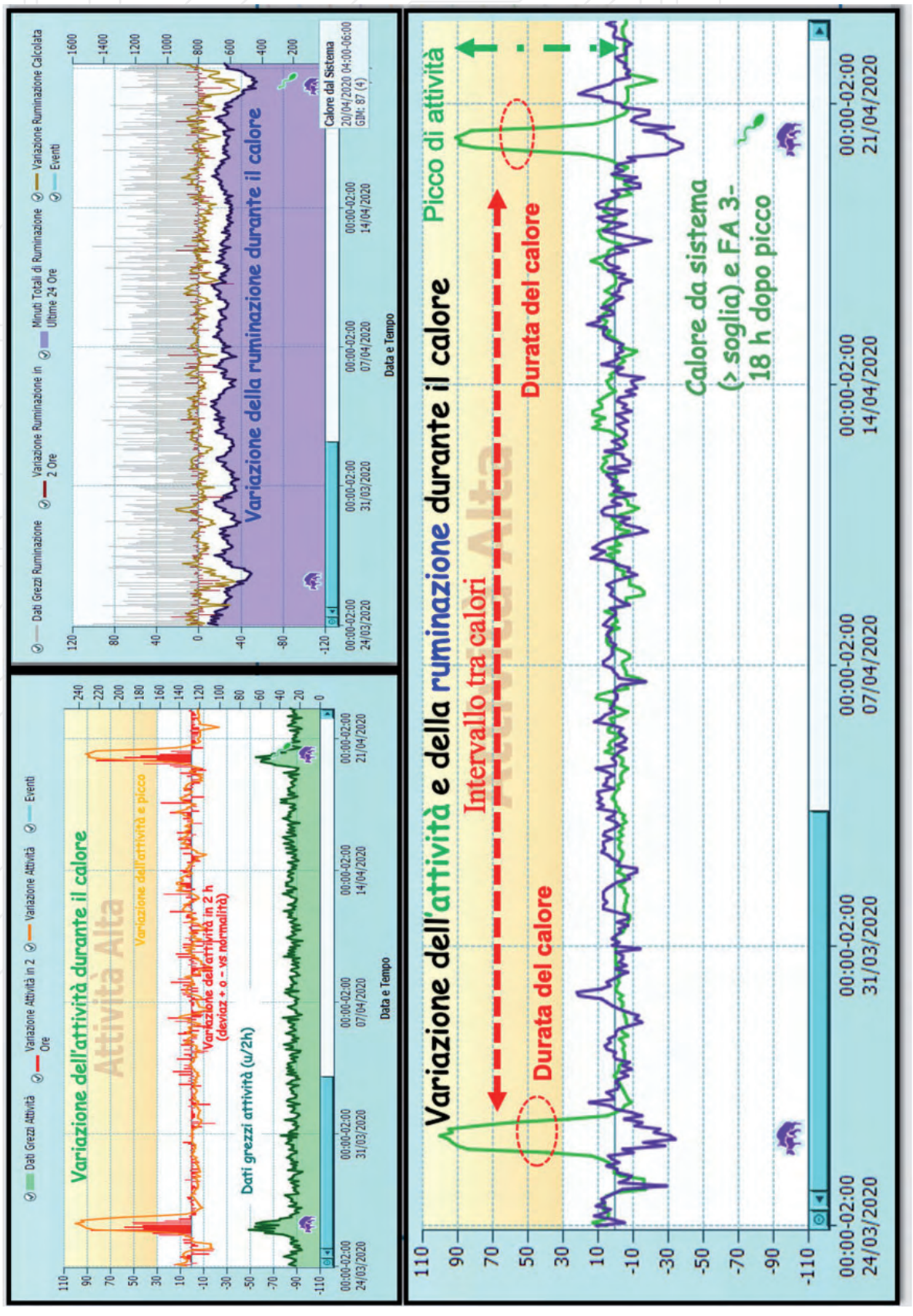


Figura 1. I grafici mostrano gli andamenti dell'attività motoria e dei tempi di ruminazione (come variazioni positive e negative e come dati grezzi), rilevati in una bovina tramite accelerometro a collare. Per i due eventi di calore si possono osservare la durata, l'intensità (o picco), l'intervallo tra essi e il momento dell'effettuazione della FA .

L'utente, che consulta i dati tramite le applicazioni da smartphone o il software gestionale da PC, accede attraverso la pagina iniziale di **interfaccia utente** (o pannello di controllo) al riepilogo dei dati produttivi, riproduttivi e sanitari riguardanti la mandria, dai quali può accedere rapidamente a grafici, rapporti, schede animali e allerte specifiche. Gli elenchi di attenzione riguardanti la sfera riproduttiva includono le bovine da fecondare, in attesa di diagnosi di gravidanza, in anaestro prolungato (assenza di attività ovarica oltre un certo periodo dal parto), con sospetto di aborto o di patologie ovariche, da sottoporre a visita da parte del medico veterinario. Le **allerte** riportano, invece, le bovine in **calore**, che hanno mostrato un aumento dell'attività motoria oltre la soglia (attività intensa, accompagnato o meno da calo della ruminazione) e che possono essere sottoposte a FA; possono essere presenti in questo elenco o in uno separato, quelle con alta attività, già fecondate, quindi i **ritorni** da monitorare per rischio aborto o da non fecondare, perché nel periodo di attesa volontaria o da riformare a fine lattazione. Attraverso gli analizzatori automatizzati del latte è possibile, invece, monitorare il livello di P4 nel latte, considerato il *gold standard* per riconoscere le bovine in calore con alti livelli di tasso di rilevamento dei calori *(Vreeburg, 2010)*, ma anche indicare le bovine gravide, a rischio di cisti follicolari o luteiniche o in anaestro (Figura 2). Riguardo gli avvisi nutrizionali e salute, sono segnalate le bovine con attività anomala, per variazione dei tempi di ruminazione, alimentazione e/o riposo, che devono essere sottoposte a controllo o visita veterinaria.

L'efficienza del riconoscimento visivo delle bovine in estro dipende molto dalla frequenza, dalla durata e dall'ora della giornata in cui si osserva il loro comportamento all'aumentare delle dimensioni degli allevamenti questa operazione risulta molto impegnativa. Il supporto offerto da alcuni strumenti (gessetti, vaschette o formulazioni coloranti) applicati su groppa o base della coda, che emettono o cambiano colore per schiacciamento dopo lo scavalcamento da parte di altre bovine, consentono di individuare le bovine che mostrano il riflesso di immobilità anche in momenti di bassa osservazione (es. durante la notte), ma non forniscono altre informazioni (come inizio e fine del comportamento). Le tecnologie di ZdP non solo rilevano in automatico le bovine con i segni del calore, ma informano anche su: ora di inizio, durata, fine e qualità dell'estro, indicando il momento ottimale per la FA. In tal modo, l'allevatore può intervenire rapidamente, programmando in anticipo le bovine da fecondare al momento ottimale (grazie alla finestra di inseminazione).

Numerosi studi bibliografici hanno valutato e confrontato le prestazioni di diversi dispositivi, evidenziando anche l'effetto di alcuni fattori di rischio (stato di ingrassamento, ordine di lattazione, fase di lattazione, livello produttivo) in grado di influenzare l'aumento relativo dell'attività o l'indice di calore durante l'estro, la durata e la percentuale di gravidanze *(Lopez et al. 2004; Dolecheck et al., 2015; Madureira et al., 2015)*. Uno studio *(Mayo et al., 2019)* ha messo, poi, a confronto le prestazioni di sei diversi dispositivi per rilevare le vacche in calore, utilizzando due diversi metodi di riferimento (o gold standard): il livello di P4 nel plasma e il riconoscimento visivo delle vacche in calore (tramite osservazione dell'immobilità alla monta), in oltre cento vacche sottoposte ad un protocollo di sincronizzazione degli estri. Le percentuali di Se e Sp variavano fortemente tra i due metodi, in particolare il numero di falsi positivi (FP) è risultato molto basso utilizzando il P4 plasmatico, mentre i falsi negativi (FN) erano alti, situazione opposta nel secondo caso, evidenziando l'importanza del metodo utilizzato per rilevare le bovine in calore. Le stesse tecnologie permettono il riconoscimento precoce degli stati **patologici**; infatti, i sensori che rilevano i parametri sulla bovina (attività, ruminazione) o sul latte per monitorare lo stato riproduttivo, possono misurare anche altri utili indicatori di stato di salute e benessere delle bovine.

La ruminazione, un processo fisiologico che consiste nel rigurgito, rimasticazione e deglutizione dell'alimento ingerito durante il pasto, controllato volontariamente dalla bovina e influenzato da numerosi fattori (nutrizionali, legati alla bovina e alla gestione), ci fornisce utili e precoci indicazioni sullo stato di salute e benessere, prima della comparsa di altri sintomi. Il dato medio del gruppo di alimentazione ci può invece indicare possibili situazioni di stress (sovraffollamento o da caldo) o errori di razionamento che richiedono interventi gestionali o cambi di alimentazione. È importante controllare la variazione del tempo di ruminazione da un giorno all'altro, poiché le bovine hanno un comportamento abitudinario.

Da sottolineare l'importanza del monitoraggio del momento del **parto**, con strumenti specifici, perché i problemi in questa fase si ripercuotono sulla carriera dell'animale. Da un parto andato a buon fine, oltre

alla nascita di un vitello in buona salute (per la rimonta o la vendita), si avranno prestazioni produttive e riproduttive ottimali per la madre; diversamente se il travaglio si presenterà difficile, oltre all'aumento del rischio di morte (o malattie) del vitello alla nascita o prima dello svezzamento, ci saranno conseguenze negative per la carriera della madre, con maggior probabilità di patologie come ritenzioni di placenta, endometriti, ridotte prestazioni produttive e riproduttive fino alla eventuale riforma.
Tra la sensoristica disponibile, abbiamo due tipi di dispositivi da applicare sulla bovina alcuni giorni prima del parto: le sonde da installare a livello vaginale misurano le variazioni di temperatura e inviano segnali (GSM) per avvisare dell'avvio del secondo stadio del travaglio (all'espulsione del sensore con le contrazioni) e gli accelerometri da installare alla base della coda che analizzando i movimenti della coda, rilevano l'inizio del travaglio e se il parto si prolunga per richiedere assistenza (parti difficili).

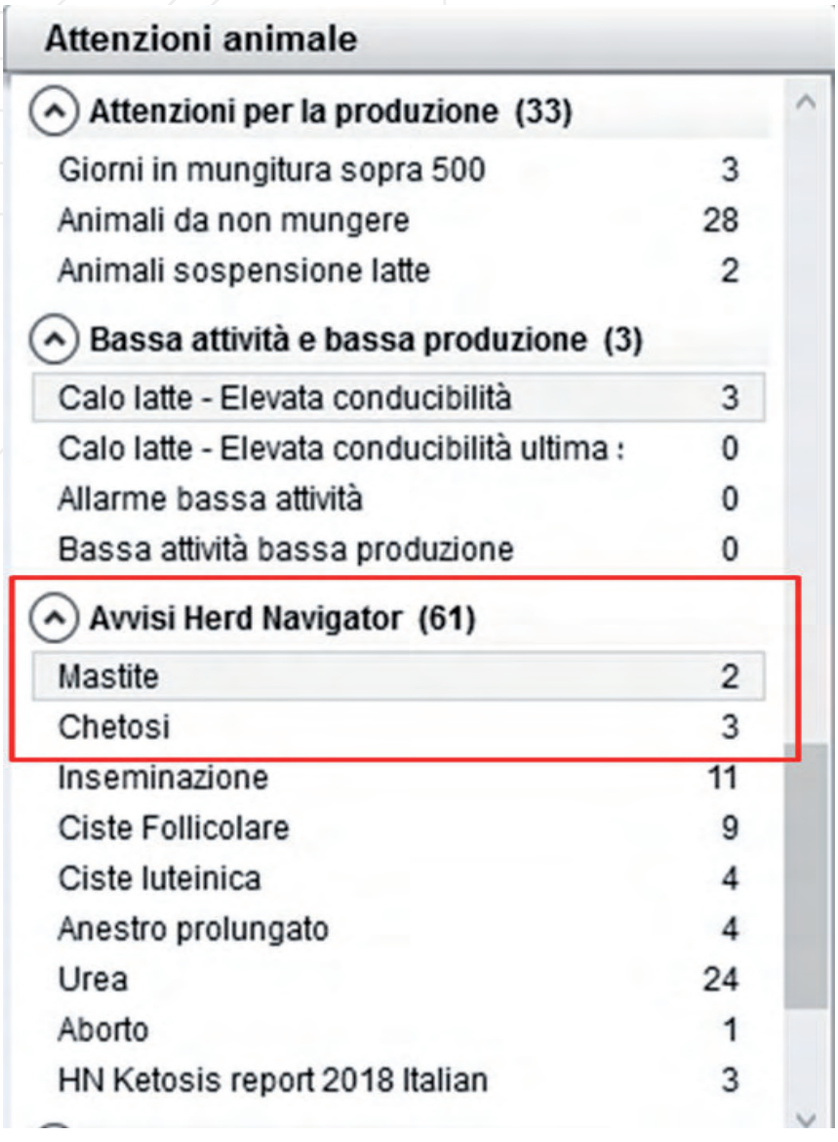


Figura 2. Elenco bovine in attenzione (per variazioni della produzione e dell'attività) e in allerta per variazioni del progesterone nel latte (avvisi calore, probabile aborto, gravidanza, cisti follicolari o luteiniche, anaestro prolungato); del beta-idrossibutirrato (rischio chetosi) e dell'attività dell'enzima lattato deidrogenasi (rischio mastiti), analizzati tramite un analizzatore automatizzato.

3.6 Sanità della mammella

La mastite rappresenta uno dei problemi più rilevanti dell'allevamento bovino, poiché influenza negativamente sia il livello di benessere animale che la produzione di latte, determinando importanti ricadute economiche per l'allevatore, ma anche per l'intero settore produttivo lattiero-caseario, in conseguenza delle alterazioni qualitative a carico del latte e dell'uso degli antimicrobici. È una patologia multifattoriale, la cui incidenza dipende dall'interazione tra i microrganismi, l'ambiente di stabulazione, quindi la gestione aziendale, e la bovina. Per l'allevatore i costi sono legati alla riduzione del latte venduto (per minor produzione, scarto, perdita funzionale del quarto e dei premi pagamento qualità per aumento del CCS), all'aumento del carico di lavoro e agli interventi gestionali necessari **per controllarla e prevenirla**: dalle spese per le visite da parte degli specialisti del settore, agli esami di laboratorio per la corretta diagnosi dell'agente eziologico e la prevenzione della diffusione e cronicizzazione dell'infezione, ai trattamenti antibiotici, per curarle e prevenirle durante l'asciutta. Per problemi di cronicizzazione, infezioni da microrganismi contagiosi o concomitanza di altre patologie correlate, si arriva spesso alla riforma delle bovine, con aumento della quota di rimonta, riduzione del numero di lattazioni e rallentamento del miglioramento genetico della mandria. Il Regolamento (UE) 2019/6 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 dicembre 2018, relativo ai medicinali veterinari, dal 28 gennaio 2022 impone agli allevatori un uso (più) razionale e mirato degli antimicrobici, a favore di una maggior sostenibilità ambientale e sociale (a tutela dei cittadini europei), ma anche economica (conseguente il ridotto impiego dei farmaci, quando non necessari o usati per compensare eventuali errori gestionali).
Per assicurare produzioni di latte di qualità, benessere animale e sostenibilità economica è importante il continuo monitoraggio dello stato di salute della mammella per identificare e gestire prontamente le bovine con infezione (sia clinica che sub-clinica), negli stadi iniziali per iniziare il trattamento (quando necessario) e valutarne il decorso (guarigione): occorre, quindi, mettere in pratica tutte le possibili strategie *sia manageriali che tecnologiche*. Il monitoraggio delle mastiti è possibile, infatti, attraverso il controllo di alcuni parametri del latte: oltre alla riduzione della produzione, si osservano alterazioni del colore, della CE e della composizione *(Brandt et al., 2010)*. La presenza di sangue (ma anche di stoppini o coaguli) può essere rilevata attraverso sensori *in-line* ottici che utilizzano la riflessione o trasmissione della luce RGB generata da un LED, permettendo la separazione automatica del latte (anche del singolo quarto in certi sistemi robotizzati). Questi sistemi hanno generalmente una bassa Se, ma un'alta Sp.
Le variazioni della CE del latte, tra i primi parametri analizzati associati ai sistemi di mungitura per rilevare le mastiti, sono monitorate attraverso degli elettrodi che misurano la resistenza del latte al passaggio della corrente elettrica, la quale aumenta in conseguenza di alterazioni della permeabilità dei capillari agli ioni (con aumento della concentrazione di Na^+ e Cl^-) nel tessuto mammario del quarto colpito. Sensibilità e specificità di tale metodo variano molto a causa dell'influenza di numerosi fattori sul parametro *(Brandt et al., 2010)*. Risultati migliori si possono ottenere attraverso la combinazione di più parametri, come la variazione della produzione o del flusso, la presenza di mungiture incomplete e i dati della storia clinica della bovina, tramite analisi delle serie temporali (come previsto dai più recenti algoritmi). I sistemi presenti sui robot di mungitura, possono confrontare il dato di ciascun quarto con gli altri, per valutare il superamento tra il valore più alto e più basso oltre una certa soglia, o il superamento di una soglia assoluta in mS/cm (Figura 3), o combinare i valori di CE massima e delle sue variazioni entro mungitura, infatti in corso di mastite la CE del quarto può non aumentare, ma si può osservare una maggior variazione del suo valore durante la mungitura, per effetti sul flusso di latte *(Norberg et al., 2004)*.

ANIMALI CON PROBLEMI DI CONDUCIBILITA'

Animali che appaiono in entrambe le liste

PD = Posteriore Destro

PS = Posteriore Sinistro

AS = Anteriore Sinistro

AD = Anteriore Destro

Nr	quarto lista 1	quarto lista 2
26	AS	AS
58	PS	PS
67	PS	PS
97	AS	AS
100	PS	PS
207	PS	PS
6		

Lista 1: Deviazione tra i quarti

(alta conducibilità nelle ultime 4 mungiture)

Qui vengono comparati il quarto con il valore più alto contro il quarto con valore poù basso. Il valore piùù basso deve essere più altro di 400.

Nr	Ultima mungitura Data	Ora	Più basso 1/4	media	Più alto 1/4	ultime 4	dev. %
58	4-06	4:01	AD	578	PS	1292	124
207	4-06	7:53	AD	490	PS	1214	148
152	4-06	7:22	AD	584	AS	1095	87
41	4-06	6:56	AD	549	PS	1044	90
67	4-06	2:06	AD	553	PS	1018	84
26	4-06	4:37	AS	529	AS	978	85
97	4-06	4:09	AD	490	AS	959	96
128	3-06	16:59	AS	474	PS	932	96
100	4-06	8:15	AD	469	PS	856	83
9				4717		9388	892

Lista 2: Deviazione sui quarti

Qui appaiono animali con una deviazione sul quarto più del X%.

Più simboli + vengono mostrati poù l'incremento è significativo.

Nr	Media latte	Quarto PD Allarmi	Quarto PS Allarmi	Quarto AS Allarmi	Quarto AD Allarmi
9	20.3	ok	++++	ok	----
26	37.0	ok	ok	++++	ok
58	28.4	ok	++++	ok	ok
67	39.6	ok	++++	ok	ok
80	41.7	ok	ok	ok	++++
97	35.4	ok	ok	++++	ok
100	35.4	ok	++	ok	ok
105	47.9	++	ok	ok	ok
194	46.0	ok	ok	ok	++
202	27.9	++++	++	ok	ok
207	26.5	ok	++++	ok	ok
11	386.2				

Figura 3. Rapporto di attenzione per bovine a rischio mastite: lista delle bovine con deviazione tra quarti e lista delle bovine con deviazione sui quarti, per i valori di conducibilità elettrica rilevati in un robot di mungitura.

Passiamo ora ai sistemi per il monitoraggio del CCS che, come vedremo, usano analisi e metodi molto diversi. Questi dispositivi non vanno considerati come strumenti di diagnosi, ma di supporto alla gestione della salute mammaria. Attualmente è disponibile un sistema contacellule portatile e uno associato al sistema di mungitura automatizzata (*on line*), che mostra valori di correlazione con le CCS valutate con analisi di laboratorio abbastanza elevati *(Sorensen et al., 2016)*. Questo dispositivo preleva in automatico un campione di latte, lo miscela con dei reagenti che consentono la liberazione e la colorazione dei nuclei e la loro conta mediante microscopio a fluorescenza collegato a una fotocamera digitale.
Un'altra tipologia di sistema di analisi delle CCS si basa sul metodo *California Mastitis Test* (CMT) automatizzato ed è disponibile sia su sistemi robotizzati che convenzionali. Il sistema preleva un campione di latte ben miscelato da una singola mungitura, lo miscela con un volume fisso di reagente fino al formarsi di un gel, di cui misura la viscosità e sulla base di una curva di calibrazione trasforma il valore di viscosità in CCS (fornisce un numero o un intervallo delle CCS). Tale risultato rappresenta una indicazione del possibile CCS del latte, a supporto dell'identificazione delle variazioni del parametro, per intervenire rapidamente ove necessario (con approfondimenti diagnostici) e garantire un latte di qualità ottimale. Frequenza di analisi e campionatura dipendono dallo stato di salute della bovina e dalle impostazioni stabilite dall'utente. Con l'obiettivo di confrontare il CCS misurato in laboratorio e online (CMT automatizzato), sono stati analizzati i dati raccolti in 50 aziende, da 4829 vacche e 434.371 mungiture da -7 a +7 giorni dai controlli funzionali, per valutare il coefficiente di concordanza di correlazione (CCC) tra i due metodi e la finestra temporale migliore per usare il dato medio, risultato mediamente pari a 0,53, utilizzando i dati delle 24 ore prima e dopo il controllo ufficiale della produttività *(Deng et al., 2020)*.
Per quanto riguarda il monitoraggio del contenuto in lattosio del latte, così come di quello in grasso e proteine, troviamo i dispositivi basati sulla spettroscopia nel vicino infrarosso (analisi NIR). In questi sistemi la riduzione del contenuto di lattosio è utilizzata, insieme ad altri parametri, come indicatore di mastite.
Se consideriamo, infine, i dati del monitoraggio della ruminazione e dell'attività per identificare le bovine con mastite, i risultati non sono molto buoni; i valori di Se sono elevati solo per mastiti cliniche associate ad altre patologie, quando causate da *Escherichia coli*, e con una finestra temporale limitata *(Stangaferro et al., 2016*).

3.7 Come le tecnologie migliorano il benessere animale e la sostenibilità

Le tecnologie finora illustrate hanno il potenziale di fornire informazioni preziose sia a livello di singolo animale che di mandria o gruppo produttivo.
Per conoscere la presenza e l'interesse nei confronti delle tecnologie di ZdP, nel 2016 abbiamo condotto un'indagine *(Abeni et al., 2019)*, grazie al supporto dei tecnici dell'Associazione Provinciale Allevatori di Cremona, su 490 allevamenti bovini da latte (l'82% dei totali aderenti al sistema dei CCFF). I parametri maggiormente monitorati tramite i sensori in stalla o comunque di maggior interesse sono risultati: la produzione, la CE e il CCS di latte, l'attività motoria e di ruminazione, con aumento della presenza e dell'interesse da parte degli intervistati per tali tecnologie, all'aumentare delle dimensioni aziendali.
Come evidenziato da un'indagine (condotta nell'ambito del progetto europeo *4D4F; https://www.4d4f.eu)* su 300 rappresentanti di quattro settori professionali (allevatori, veterinari, ricercatori e consulenti aziendali), il miglioramento della produttività e sostenibilità dell'allevamento sono considerate aree prioritarie della ricerca nel settore delle tecnologie, in particolare attraverso il rilevamento di problemi di salute come mastiti, laminiti e malattie metaboliche e la riproduzione. Lo studio ha evidenziato, anche, la necessità di migliorare i livelli di Se e Sp e l'integrazione tra i sensori (in un unico sistema) per fornire

informazioni a supporto delle decisioni, nonché analisi dei costi-benefici indipendenti.
I principali dubbi sulle tecnologie riguardano la loro reale **efficienza** e, in particolare, il reale ritorno economico dall'investimento, anche se la maggior parte di essi è diventata accessibile a molti allevatori. Nonostante la semplicità d'utilizzo e consultazione dei dati dai software gestionali, il controllo e la gestione delle patologie non sono privi di difficoltà: devono essere migliorate le prestazioni delle tecnologie. Nel campo della ricerca sono stati realizzati numerosi studi di validazione e valutazione della Se, Sp e accuratezza di molti dispositivi presenti sul mercato, ma nella realtà di ogni allevamento sappiamo che questi dati possono variare perché influenzati da numerosissimi fattori. Inoltre, i risultati di una review del 2020 *(Stygar et al., 2021)*, per individuare quanti sensori fossero stati validati attraverso studi esterni (cioè realizzati in aziende e da ricercatori non coinvolti nello sviluppo della tecnologia stessa), hanno messo in evidenza come a fronte di una bibliografia molto ampia, solo 42 lavori rispondessero ai criteri stabiliti, valutando 26 strumenti commerciali e 4 prototipi, principalmente in aziende sperimentali, sottolineando la necessità di studi in aziende commerciali.
Rilevare automaticamente e precocemente un evento fisiologico, uno stato patologico, un malessere, uno stress ecc., consente di focalizzare l'attenzione sugli animali segnalati, intervenire prima che la patologia diventi conclamata e indirizzare a visita veterinaria e/o ad analisi di laboratorio solo quelle bovine a rischio salute: si passa, quindi, da una gestione della mandria a una gestione del singolo individuo. La richiesta tempestiva di analisi di laboratorio delle razioni, del sangue o del latte (batteriologico con antibiogramma e concentrazione minima inibente-MIC) o altre indagini permettono di effettuare interventi gestionali (es. a livello di razione) o diagnosticare correttamente le patologie con la scelta mirata e razionale della terapia, consentendo di ridurre la durata del trattamento, aumentare le probabilità di guarigione, evitando la cronicizzazione, e minimizzare gli effetti negativi sulle produzioni. L'allevatore può così prendere decisioni più consapevoli: può massimizzare l'efficienza produttiva e riproduttiva (aumentando le percentuali di gravidanza e il progresso genetico della mandria, con la riduzione del numero di vacche allevate), economica (minori perdite dovute ai costi per i trattamenti e riduzione della riforma involontaria delle bovine), il benessere animale e, di conseguenza, la sostenibilità ambientale (minor impatto).
Da un punto di vista del loro completo e corretto utilizzo da parte dell'allevatore, il discorso è più complesso; c'è ancora da lavorare per migliorare il livello di consapevolezza e conoscenza da parte degli allevatori e dei tecnici dei concetti tecnologici (IoT, intelligenza artificiale, algoritmi etc.) alla base dell'azienda "digitale" per il pieno sfruttamento delle potenzialità di singoli dispositivi e soprattutto della loro possibile interazione. Uno dei problemi principali rimane la messa a punto di procedure da mettere in atto in caso di allerte o segnali di allarme/attenzioni salute che identificano, a volte "troppo" precocemente, le bovine "a rischio", che non mostrano ancora i sintomi della patologia conclamata (fase pre-clinica). Un aspetto molto importante da considerare è la gestione di un numero elevatissimo di dati acquisiti giornalmente da diversi sistemi: dalle tecnologie di ZdP ai risultati delle analisi di laboratorio, che spesso non comunicano. La sinergia tra tali fonti di informazioni è importantissima per supportare l'allevatore nella fase decisionale che riguarda aspetti di benessere e sanità. Solo pochi software gestionali combinano i dati da più sensori o permettono l'analisi dei dati storici ed economici, per permettere l'applicazione di procedure operative automatiche o utilizzarle in sistemi di supporto decisionale in modo efficace, orientando l'allevatore nel prendere decisioni, valutare e testare nuovi approcci gestionali per evitare il ricorso agli antibiotici sulla base dei dati e delle informazioni rese disponibili dalle tecnologie.
A integrazione della bibliografia citata, si rinvia il lettore ad alcune pubblicazioni pertinenti gli argomenti trattati nel presente capitolo *(Petrera, 2017; 2018; 2020 a-d; Petrera e Abeni, 2019; Petrera et al., 2021; Petrera e Zanini, 2021 a-c)*.

4. Digitalizzazione e zootecnia di precisione a supporto dell'allevamento della vitella

Greta Canevaro e Fabio Abeni - CREA-ZA, Centro di ricerca Zootecnia e Acquacoltura, sede di Lodi

4.1 Introduzione. Importanza della fase di vitella per lo sviluppo della bovina da latte e per la sua futura carriera produttiva

Le vitelle e le manze rappresentano la rimonta dell'azienda e, quindi, il suo futuro: anche se sono in una fase "non produttiva" perché non hanno ancora partorito, non dobbiamo considerare questi animali solamente come un costo in termini di lavoro e di consumo di alimento. Curare la nutrizione e alimentazione della vitella, assicurandole una gestione adeguata, è la base per impostare nel migliore dei modi la sua futura carriera produttiva.
Questa attenzione deve partire dalle primissime ore di vita della vitella, con un adeguato protocollo di gestione e somministrazione del colostro, proseguendo con la definizione degli obiettivi e della relativa adeguata strategia di svezzamento per raggiungerli.
Quando le vitelle crescono senza problemi nei primi sei mesi di vita, sono in grado di avere una carriera in stalla più lunga e produttiva, in grado di migliorare sia il reddito dell'allevatore, sia l'impatto ambientale dell'allevamento.

4.2 La gestione di precisione del colostro: metodiche e strumenti a supporto

Prima dello svezzamento, i vitelli sono molto vulnerabili alle malattie infettive. Una gestione carente in questo periodo può determinare alti livelli di mortalità, generalmente causata da infezioni gastrointestinali e respiratorie che il vitello non riesce ad affrontare a causa di uno stato immunitario non ancora pienamente sviluppato. In tale fase, è fondamentale che la risposta immunitaria sia sostenuta dall'acquisizione dell'immunità passiva tramite l'adeguata assunzione di colostro.

La placenta del bovino è di tipo sindesmocoriale: questo significa che è praticamente impermeabile per gli anticorpi della madre e non ne permette il passaggio al feto. Pertanto, nei ruminanti il trasferimento dell'immunità passiva non avviene attraverso la placenta, ma dipende esclusivamente dall'assunzione del colostro nelle prime ore di vita del vitello.

Il colostro, oltre a svolgere la funzione di trasferimento dell'immunità passiva, contiene anche altre importanti componenti: calcio, zinco, magnesio, ferro, cobalto, manganese, ma anche vitamine (vit. A, vit. E, riboflavina, vit. B12, acido folico, colina), fattori di crescita, fattori antimicrobici, nutrienti, leucociti materni. Il colostro è il primo alimento/fonte nutritiva per il vitello e costituisce una fonte concentrata di nutrienti ed energia.
Il primo fattore da considerare per la gestione del colostro e della sua somministrazione è la sua

concentrazione in immunoglobuline G (IgG) e questa può essere stimata utilizzando un colostrometro oppure un rifrattometro opportunamente calibrati.
Un colostro di qualità deve avere una concentrazione di IgG > 50 mg/ml. La qualità del colostro somministrato andrà ad influenzare la concentrazione delle immunoglobuline sieriche del vitello dopo la colostratura. Se a 24/48 ore dalla nascita il vitello ha una concentrazione sierica di IgG < 10 mg/ml, si può constatare una carenza immunitaria da insufficiente somministrazione di colostro, ovvero il fallimento del trasferimento dell'immunità passiva. Le proteine totali sieriche sono considerate un buon indicatore della concentrazione di IgG.
Sono diversi i fattori che possono influenzare la qualità del colostro.

Età della bovina: generalmente bovine pluripare hanno un colostro di qualità migliore rispetto alle primipare in quanto hanno avuto più tempo per incontrare diversi patogeni.

Stagione di parto: i parti nella stagione calda sono spesso associati a minore qualità del colostro (minore ingestione alimento, minore trasferimento di IgG per minore flusso ematico alla mammella) *(Morin et al. 2001).*

Gestione dell'asciutta: sia per quanto riguarda lo stress favorito da situazioni di sovraffollamento, sia in riferimento alle vaccinazioni effettuate in questo periodo che vanno ad aumentare gli anticorpi specifici che si ritroveranno anche nel colostro.

Volume di colostro prodotto: un volume superiore a 8,5 litri può causare un effetto diluizione delle IgG rispetto alla quantità di colostro assunta dal vitello.
Tempistiche di raccolta e conservazione del colostro: devono essere rapide, meglio nelle prime due ore dal parto, perchè successivamente la qualità del colostro diminuisce; in particolare, il colostro della prima mungitura dopo il parto è quello che ha maggiore contenuto di IgG.

Igiene nella raccolta e gestione del colostro: il limite raccomandato di carica batterica totale (espressa in unità formanti colonia, UFC) è < 100.000 UFC/ml e < 10.000 UFC/ml per i coliformi *(McGuirk and Collins, 2004; Chigerwe et al., 2008)*. È importantissimo evitare la contaminazione del colostro durante la raccolta (attenta pulizia e disinfezione della mammella prima della mungitura e dei gruppi/secchi utilizzati), ma anche durante il successivo maneggiamento. Se si decide di utilizzare/conservare il colostro (banca del colostro), è necessario esporlo alla temperatura ambientale per il minor tempo possibile, in modo da ridurre la moltiplicazione dei batteri.
Il colostro può essere refrigerato; in questo modo si conserverà per un giorno oppure congelato sempre entro 1 ora dalla raccolta, in questo modo si conserverà per un anno. Al momento del bisogno basterà scongelarlo prima della somministrazione.
Inoltre, è importante considerare che la barriera intestinale del vitello ha una permeabilità massima nelle primissime ore di vita; perciò, il primo pasto andrebbe somministrato entro 6 ore dalla nascita. Successivamente la barriera intestinale inizia a chiudersi in maniera progressiva, andando così a diminuire l'assorbimento delle IgG, fino alla chiusura completa che avviene a 24 ore dalla nascita. Per chiusura della barriera intestinale si intende quando l'intestino non è più in grado di assorbire macromolecole e trasferirle nel circolo.
Un altro fattore da non sottovalutare è la quantità di colostro che si decide di somministrare all'animale. Il quantitativo di latte da somministrare a un vitello è pari al 10% del suo peso. Ne deriva che è importantissimo conoscere il peso del vitello alla nascita; infatti, non rappresenta una pratica precisa quella di stimarlo con troppa approssimazione o considerarlo uguale per tutti i vitelli, in quanto si rischierebbe di sottostimare o sovrastimare il peso e di conseguenza la quantità di colostro da somministrare.
Inoltre, considerando la capacità media dell'abomaso di un vitello alla nascita, la sua capacità di assorbimento e la sua capacità di suzione volontaria, l'ideale sarebbe somministrare il pasto diviso in due: il primo pasto nelle primissime ore e il secondo nell'arco di 6-12 ore dalla nascita.

4.3 Il monitoraggio delle condizioni di stabulazione: microclima e qualità dell'aria

Il controllo delle condizioni microclimatiche nella stabulazione delle vitelle entra a far parte a tutti gli effetti della concezione di zootecnia di precisione che dobbiamo portare avanti.

Temperatura e umidità relativa. Poter intervenire, costantemente ed in tempo reale, nel regolare i parametri ambientali quali temperatura e umidità relativa (mantenendoli entro i livelli desiderabili) consente non solo una buona condizione di benessere per gli animali, ma anche la base di partenza per ottenere la maggiore efficienza di trasformazione dell'alimento in sviluppo corporeo.
In una delle stalle del progetto Latte Digitale abbiamo potuto verificare l'importanza della installazione di sensori per l'indice composto di temperatura e umidità (il THI), per la luminosità e per la rilevazione del livello di ammoniaca (Figura 1).

Luminosità. Non ci sono riferimenti particolari sul livello di luminosità minima e massima da garantire alla vitella nelle primissime settimane di vita, se non quello consigliato da *Gastaldo (2020)* di avere almeno 60 lux.

Ammoniaca. Sebbene alcuni paesi quali il Canada indichino limiti di 17,5 mg m^{-3} negli ambienti di stabulazione delle vitelle, si ritiene possibile e auspicabile, grazie al mantenimento di adeguati livelli di pulizia, garantire alla vitella valori di concentrazione di ammoniaca nell'aria che non superino i 3,5 mg m^{-3} *(Kaufman et al., 2015)*. Il controllo della concentrazione in gas nocivi quali NH_3 consente di prevenire problemi respiratori, visto l'effetto positivo di una corretta frequenza di lettiera per rimanere sotto le 6 ppm di questo gas *(Bonizzi et al., 2022).* Recentemente, è stata più volte confermata la relazione tra il deterioramento della qualità dell'aria in termini di NH_3 nell'ambiente di stabulazione delle vitelle e la proliferazione di alcuni microrganismi potenzialmente patogeni per la vitella: *Salmonella spp., S. aureus ed E. coli (Islam et al., 2020; Bonizzi et al., 2022).*

4.4 Il comportamento alimentare della vitella e le informazioni che fornisce attraverso la sensoristica

Esaminiamo ora, tra i dati che ci vengono forniti dagli attuali sistemi di preparazione automatizzata dell'alimentazione liquida per la vitella:
-il significato del consumo di alimento;
-il significato del numero di visite con e senza alimento;
-il significato della velocità di suzione;
-il peso individuale (ove presente integrato nel sistema).

Il significato di una riduzione nella ingestione di alimento è intuitivo, essendo ben noto come la vitella che non sta bene (ad esempio per problemi infiammatori) risente dell'azione anoressizzante (riduzione dell'appetito) di alcune citochine (sostanze prodotte dall'organismo in condizioni di malattia). La possibilità di rilevare, più volte nel tempo e con buona precisione, la quantità di alimento assunto rispetto a quanto somministrato, consente di comparare non solo la prestazione della singola vitella rispetto all'atteso (e permettere un pronto intervento nel caso di problemi), ma anche la valutazione di medio-lungo periodo della gestione della vitellaia.
Inoltre, grazie alla sensoristica, oggi abbiamo a disposizione altri dati in grado di fornirci un maggiore livello di informazione. In relazione alla vitalità della vitella, associato al suo livello di appetito, al suo stato

di salute e, quindi, anche alla sua mobilità nel gruppo, possiamo avere una indicazione importante dal numero di visite che la vitella effettua al sistema di allattamento nel corso della giornata, anche se non ne ha diritto. Questa misura è oggi disponibile in molti sistemi di allattamento automatizzato per la fase di gruppo e rappresenta un importante segnale per attivare l'attenzione degli operatori verso il soggetto che non sta bene. Ancor più originale è il dato della velocità di suzione (e la sua variazione relativa entro animale). Anche questo dato risulta associato all'appetito della vitella ed è quello che, insieme al consumo giornaliero, è maggiormente informativo nella fase di stabulazione individuale.
Infine, alcuni di questi sistemi consentono la installazione di una pesa sulla quale si appoggiano solo gli arti anteriori della vitella, ma il sistema è calibrato e validato per fornire il peso stimato dell'intero animale. La disponibilità giornaliera del peso consente di verificare in continuo la capacità di crescita della vitella in relazione al piano alimentare che le è stato assegnato, con ovvi vantaggi sia sulla possibilità di una precoce rilevazione di eventuali problemi di salute, sia sulla gestione complessiva della rimonta, viste le indicazioni che l'allevatore riesce ad avere sulla prestazione di crescita di ogni soggetto.

Figura 1.

Figura 1. Software di controllo e relativi sensori per un sistema di monitoraggio e regolazione della qualità dell'ambiente di stabulazione delle vitelle durante la fase in gabbiette individuali. In ordine, nel primo riquadro una schermata del software, il sensore di rilevazione dell'indice di temperatura e umidità relativa (temperature humidity index, THI), il sensore per la rilevazione della luminosità e quello per la concentrazione di ammoniaca nell'aria.

sistema di alimentazione, s/capo/giorno	alimentazione automatizzata (AU)	una volta al giorno con tettarelle (OT)	due volte al giorno con secchio (TB)	due volte al giorno con tettarelle (TT)	due volte al giorno con trogolo (TR)
a. tempo alimentazione latte	7	8	18	12	7
b. pulizia attrezzatura alimentazione	9	4	4	5	3
totale alimentazione + pulizia (a + b)	16	12	22	17	10
c. trasferimento del latte	9	5	4	6	6
totale alimentazione + pulizia + trasferimento latte (a + b + c)	25	17	26	23	16
d. governo lettiera + pulizia recinto	13	4	6	6	6
totale alimentazione + pulizia + trasferimento latte + governo e pulizia (a + b + c + d)	38	21	32	29	22
e. tempo veterinario	1	2	0	4	5
totale (a + b + c + d + e)	39	23	32	33	27

Tabella 1. Valori indicativi dei tempi dedicati alle varie operazioni di governo del settore vitelle (da 8 giorni a 8 settimane di età) in 57 allevamenti irlandesi, da marzo ad aprile, caratterizzati da differenti sistemi di alimentazione (adattato, integrato e modificato da Gleeson et al., 2008).

4.5 La fase di stabulazione individuale: quali strumentazioni abbiamo a disposizione (viste in Latte Digitale) e quali dati ci forniscono

Quando parliamo di zootecnia di precisione e di digitalizzazione del dato per la gestione dell'allevamento, inevitabilmente dobbiamo considerare gli sviluppi e il ruolo giocato dalla automazione e dalla meccatronica per agevolare il lavoro, oltre che per acquisire facilmente dati.
La fase di allevamento della vitella rappresenta un momento di particolare rilievo per l'impegno di personale in azienda, che deve avere anche requisiti di particolare affidabilità visti i compiti delicati che deve svolgere. In Tabella 1 riportiamo una comparazione fatta da ricercatori irlandesi tra diverse modalità di gestione di questa fase. In particolare, si vede il confronto tra l'organizzazione dei tempi di lavoro in sistemi dotati di alimentazione automatizzata (AU) rispetto a sistemi con distribuzione una volta al giorno con tettarelle (OT), due volte al giorno con secchi (TB), due volte al giorno con tettarelle (TT), o due volte al giorno con trogolo (TR).
Non abbiamo valori di riferimento per allevamenti italiani, ma è comunque interessante partire da questo spunto per comprendere l'utilità che gli allevatori possono avere dal possibile impiego di sistemi che, pur non completamente automatizzati, sono in grado di:
-agevolare il lavoro fisico nelle fasi di routine di preparazione e distribuzione del latte nella fase in cui le vitelle sono in gabbietta individuale,
-favorire il pieno controllo delle temperature e delle quantità di latte distribuite a ciascuna vitella a ciascun pasto.

Durante la fase di stabulazione individuale in gabbietta, segnaliamo due livelli di automazione rilevati nelle stalle partner del progetto e oggi disponibili sul mercato.

Nel primo caso (commercialmente individuato con il nome MilkTaxi®, Holm & Laue GmbH & Co. KG, Moorweg 6 24784 Westerrönfeld, Germany) è possibile automatizzare le fasi di preparazione del latte, a partire dalla pastorizzazione. Questa pratica trova la sua logica valorizzazione nel caso di impiego di latte aziendale non venduto. Va sottolineato che la pastorizzazione è estremamente efficace nella riduzione non

solo della carica batterica totale e, in particolare per la riduzione di streptococchi ambientali e di coliformi *(Elizondo-Salazar et al., 2010)*, ma trova un senso se inserita in una catena di controllo delle temperature e, soprattutto, dei fattori di rischio di una sua possibile nuova contaminazione. Per questo, un sistema come quello da noi esaminato ha valore in quanto può garantire l'efficacia dell'azione di risanamento che viene garantita fino alla bocca della vitella.
Non si hanno molte informazioni in merito al rapporto tra la temperatura alla quale il latte è assunto dalla vitella e il livello di ingestione (cui si associano salute e prestazioni di crescita dell'animale). Da quanto è dato conoscere, appare comunque chiaro come scendendo sotto certe temperature l'assunzione cali e, con essa, anche le prestazioni di crescita dell'animale *(Ellingsen-Dalskau et al., 2020)*. Importante notare che questo sistema di alimentazione automatizzata dà anche la possibilità di somministrare al vitello l'acqua di abbeverata a una temperatura preimpostata. Questo dettaglio può tornare utile soprattutto nei periodi più freddi in cui i vitelli assumono volentieri l'acqua a una temperatura maggiore rispetto a quella ambientale, aumentandone l'assunzione in maniera spontanea.

Figura 2.

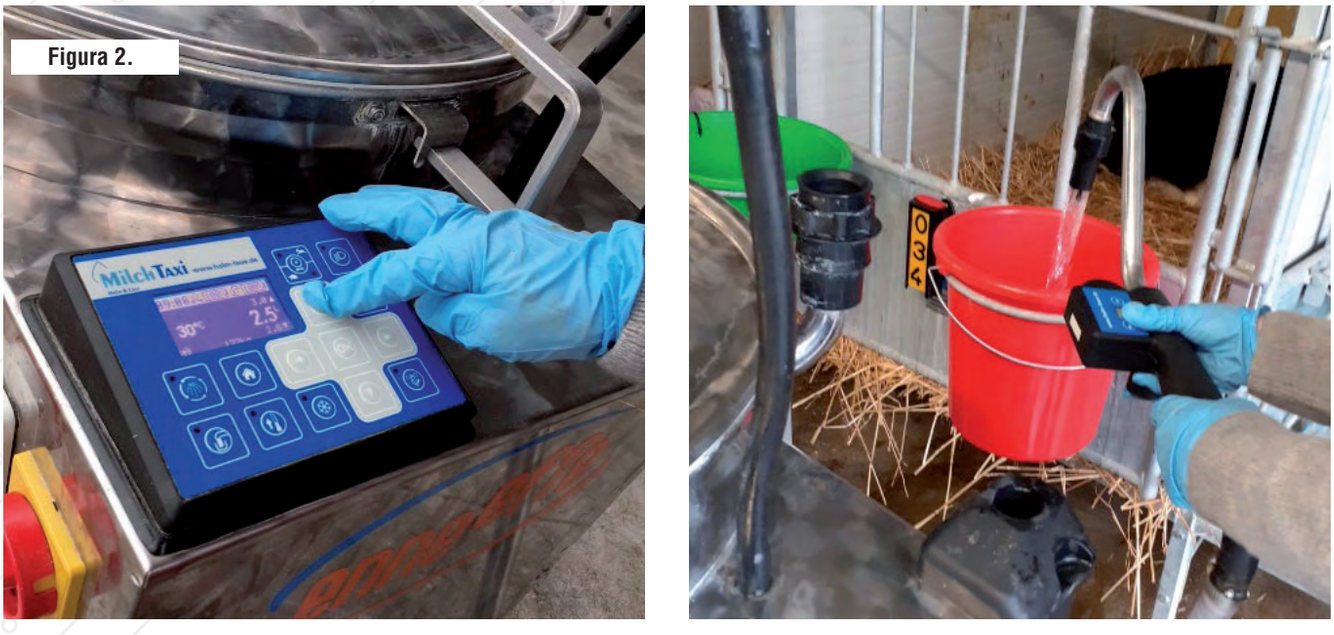


Figura 2. Sistema di distribuzione monitorata del latte alle vitelle nella fase di stabulazione individuale. Si noti nella immagine di destra il dettaglio dell'etichetta di riconoscimento della singola gabbietta a cui è associata la vitella.

In Figura 2 si riportano le immagini del sistema adottato in uno degli allevamenti del progetto Latte Digitale e, nella parte destra, è possibile vedere proprio il momento di distribuzione di acqua di abbeverata calda durante un passaggio di distribuzione nel periodo invernale. Come si può vedere dalla Figura 3, che riporta una schermata di gestione del sistema, si ha il monitoraggio continuo delle operazioni svolte e da svolgere, con i relativi orari di esecuzione. In questo modo si entra davvero in un'ottica di gestione di precisione della alimentazione lattea della vitella, che non consiste solo nella lecita aspettativa di controllare al meglio il rapporto tra fabbisogni e alimento somministrato, ma va oltre e garantisce la corretta gestione dell'operatività quotidiana (e della sua relativa verifica) per consentire di rilevare rapidamente eventuali punti critici. Sappiamo bene, infatti, come nella gestione di alimenti microbiologicamente "vivi" come il latte o i suoi sostitutivi il controllo di tempi e temperature, unitamente alla pulizia dei materiali con cui si opera, rappresenta un elemento centrale e determinante per il conseguimento dei risultati desiderati sia in termini di salute che di prestazioni zootecniche.

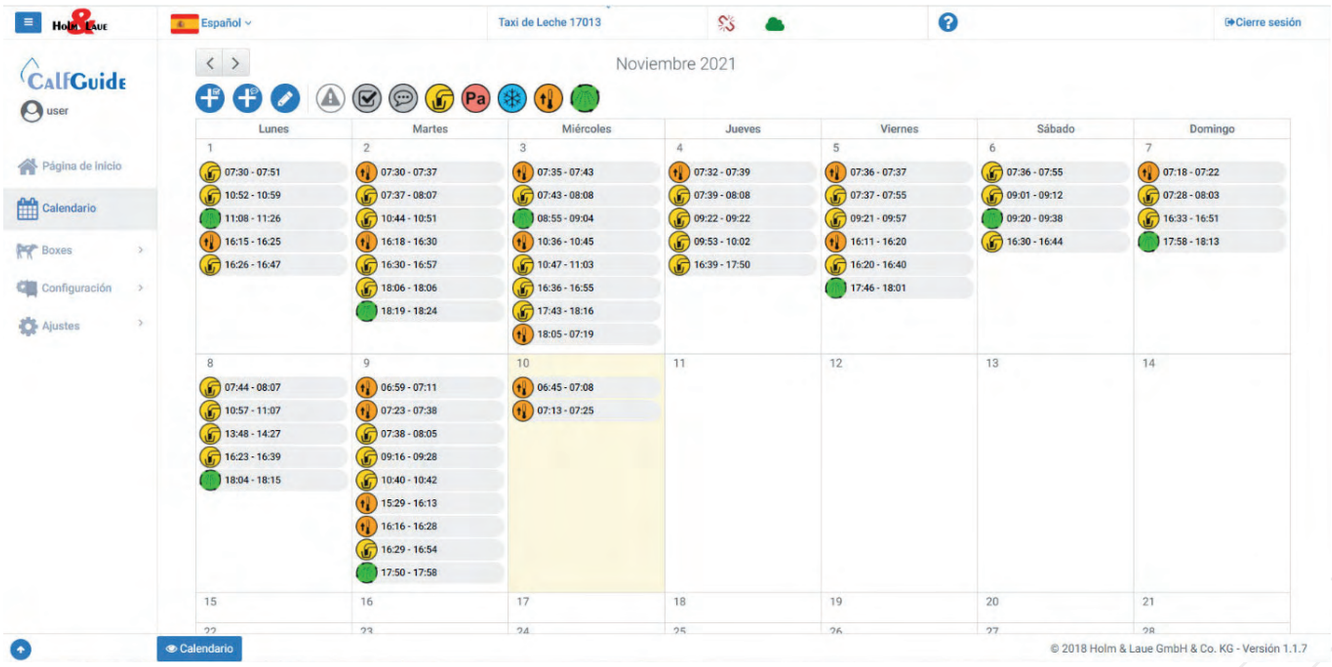


Figura 3. Schermata del programma di gestione del sistema di precisione per la fase di alimentazione lattea nella fase di stabulazione individuale delle vitelle. Come si può notare, sono riportati gli orari esatti in cui sono compiute le diverse operazioni di gestione, preparazione e distribuzione.

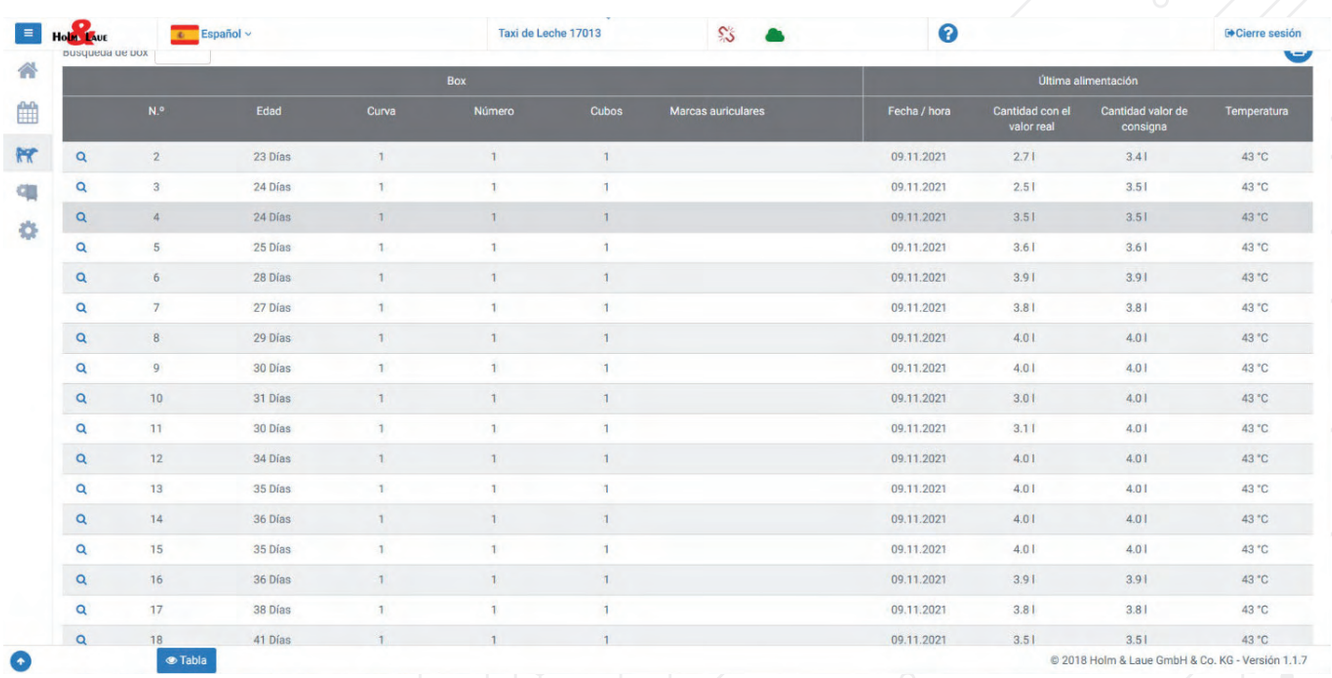


Figura 4. Schermata del programma di gestione del sistema di precisione per la fase di alimentazione lattea nella fase di stabulazione individuale delle vitelle. Si evidenzia il rapporto disponibile con i quantitativi di latte previsti e quelli realmente distribuiti a ciascuna vitella.

Nella gestione pratica della vitellaia, tanti elementi possono falsare la corrispondenza tra la quantità di latte prevista per ciascuna vitella e quanto realmente le viene distribuito. La digitalizzazione di questa fase porta ad avere una maggiore corrispondenza, nell'ottica della alimentazione di precisione, tra gli apporti di latte o suo sostitutivo programmati per la singola vitella e quanto avviene nella fase di distribuzione; l'operatore si può affidare completamente all'uso del lettore digitale che, identificata la gabbietta a cui corrisponde l'individuo, determina la corretta somministrazione.
In Figura 4, il rapporto sulle distribuzioni giornaliere di alimento evidenzia le discrepanze, consentendo all'allevatore due livelli di analisi: la prima, immediata, per rilevare specifici problemi su singoli soggetti; la seconda, nel medio termine, per valutare su dati storici nel corso dei diversi mesi (e anni) quali fattori gestionali hanno coinciso con problemi nella vitellaia.

Figura 5. Immagine del dispositivo mobile dotato di tettarella che porta il latte alla singola vitella. Nella foto si nota il momento di lavaggio della tettarella stessa nel passaggio da una vitella alla successiva.

Nel secondo caso (commercialmente individuato con il nome Calf Rail®, Förster Technik, Germany) abbiamo da un lato un effettivo intervento dell'automazione e dall'altro lato un incremento della informazione sul comportamento alimentare della vitella. Infatti, in un sistema di stabulazione individuale in gabbietta è necessario che l'alimento sia portato davanti alla vitella. Questo è quanto avviene con il sistema robotizzato in oggetto. Al centro della zona di stabulazione individuale delle vitelle, è collocato il dispositivo di preparazione automatizzata del latte da distribuire. Da questa zona si diramano due binari che portano nelle due sezioni di gabbiette individuali il latte ricostituito. Un dispositivo (vedi Figura 5) dotato di tettarella si ferma in corrispondenza di ciascuna gabbietta che ospita una vitella. La distribuzione di latte segue quanto previsto dal piano di alimentazione individualizzato. Questi sistemi sono particolarmente indicati per gestire piani alimentari che prevedono il raggiungimento di un alto consumo giornaliero di latte sostitutivo, al fine di sfruttare al meglio le prestazioni di crescita che il giovane animale può avere in tale fase.
Questo sistema è stato studiato per consentire, in questa fase, pasti adeguatamente distribuiti nel corso della giornata, per puntare al raggiungimento di livelli di ingestione di alimento latteo superiori a quelli ottenibili con due somministrazioni (le classiche manuali) giornaliere. In questo modo, le distribuzioni possono invece arrivare a 5 al giorno (esempio alle ore 05:00, 09:00, 13:00, 17:00 e 21:00 h, come riportato da *Parsons et al., 2022*).

In questo caso, il rapporto ottenibile dalla macchina fornisce la quantità di latte assunto da ciascuna vitella nel corso della giornata (comparandolo con quanto previsto dal piano alimentare per quello stesso giorno) e fornisce la velocità di assunzione di quel giorno. Come anticipato, questa misura è in grado di allertare precocemente l'operatore sulle prime avvisaglie di una condizione di malessere della giovane bovina. Questo tipo di distribuzione ha consentito il raggiungimento di alti livelli di ingestione anche nell'allevamento del progetto Latte Digitale che lo ha adottato.

4.6 La fase di stabulazione in gruppo; quali strumentazioni abbiamo a disposizione (viste in Latte Digitale) e quali dati ci forniscono

Nella fase di allevamento in gruppo, l'automazione nella gestione dell'alimentazione è relativamente più diffusa, come testimoniato dalla adozione di allattatrici automatizzate in diversi allevamenti. Meno conosciuta è la possibilità di avere informazioni precoci sullo stato di salute di ciascun soggetto grazie alla tipologia di sensoristica associata ai sistemi più diffusi. Come anticipato nella prima parte di questo capitolo, oltre ai dati di consumo individuale e di velocità di suzione dell'alimento, un dato importante è quello del numero di visite senza alimento che effettua ogni vitella. Questo dato si associa bene alla vitalità della giovanissima bovina, che dimostra appetito e interesse per l'alimento anche quando ha già raggiunto un livello di assunzione pianificato per le sue caratteristiche dal piano alimentare programmato nella macchina. Inoltre, in alcuni casi, è presente anche un sistema di pesatura basato sull'appoggio degli arti anteriori quando la vitella si alimenta. Tale sistema è decisamente collaudato e consente di verificare ogni giorno il livello di accrescimento di ciascun soggetto.

Impiego di manodopera per attività	alimentazione automatizzata (AU)	alimentazione manuale (MF)
per recinto/giorno		
a. preparazione alimento	00:02:13	00:04:57
b. ispezione alimento	00:01:16	00:15:40
c. pulizia (icluso recinto e materiali)	00:02:41	00:04:09
d. ispezione salute	00:03:23	00:00:00
totale (a + b + c + d), escluso training	00:09:33	00:24:46
per vitella/giorno		
a. preparazione alimento	00:00:11	00:00:22
b. ispezione alimento	00:00:05	00:01:10
c. pulizia (incluso recinto e materiali)	00:00:13	00:00:19
d. ispezione salute	00:00:15	00:00:00
totale (a + b + c + d), escluso training	00:00:44	00:01:51
training	00:02:14	00:00:08

Tabella 2. Impiego di manodopera totale medio per recinto e per vitello al giorno (hh:mm:ss) per quanto riguarda le attività associate all'allevamento delle vitelle in gruppo con un sistema automatizzato (AU) e con uno manuale (MF). Valori tratti da Sinnott et al. (2021).

Anche in questa fase è importante considerare il ruolo che la tecnologia ha a supporto della riduzione del lavoro manuale tradizionale, consentendo una maggiore efficienza dell'impiego di manodopera, necessariamente più qualificata, nella gestione della vitellaia. A tale proposito, riportiamo in Tabella 2 il conteggio comparativo del tempo di lavoro dedicato alla vitellaia (sia su base di gruppo che su base individuale) in un sistema di alimentazione automatizzata e in uno tradizionale manuale *(Sinnott et al., 2021)*.
Risulta evidente come, nella routine, il sistema automatizzato richieda meno tempo di lavoro del personale per ciascuna vitella. In questa sede, comunque, si vuole sottolineare che questo risparmio di manodopera generica a favore di un minore tempo di manodopera più qualificata non è il solo vantaggio della adozione di questi sistemi. Soprattutto in una fase quale quella di stabulazione di gruppo, dove è più facile perdere di vista il singolo soggetto o peggio ancora confonderlo con un altro, è fondamentale avere uno strumento che ci segnali precocemente un problema che, nel gruppo, potrebbe esserci sfuggito. Anche in questo caso, come per la fase precedente, un ulteriore valore è rappresentato dalla possibilità di una analisi dei dati più generale, sull'andamento complessivo delle prestazioni della vitellaia nel corso anche di una intera annata o in due annate a confronto: in questo modo, è possibile effettuare valutazioni su tutti gli aspetti che, con forti interazioni stagionali, possono avere influito su scarsi accrescimenti, piuttosto che su una maggiore morbilità o mortalità.

4.7 L'importanza del peso della vitella: alla nascita, al termine della fase di stabulazione individuale e (giorno per giorno) durante la fase di stabulazione in gruppo

Oltre all'attenzione che è necessario riporre nelle misurazioni per definire correttamente quantità e qualità prima del colostro, e poi del latte da somministrare e che poco per volta verrà sostituito da un'alimentazione solida, è molto importante anche un corretto monitoraggio dell'incremento ponderale della vitella. La motivazione è semplice: solo l'incremento del peso individuale può mostrarci come sta crescendo la nostra vitella. È importante avere il dato di partenza alla nascita e da quello costruire la curva di crescita dell'animale, idealmente giorno per giorno, dandoci la possibilità di intervenire tempestivamente se necessario, magari modificando le quantità di alimento somministrato, oppure indagando su eventuali patologie che possono essere causa della diminuzione di appetito o di assorbimento.
Come detto in precedenza per altri aspetti di zootecnia di precisione applicata all'allevamento della vitella, anche la determinazione del peso vivo e del suo andamento non è di interesse solo per una precoce allerta su eventuali problemi del singolo soggetto, ma si presta a valutazioni a più livelli e nel medio-lungo periodo.
In primo luogo, dal monitoraggio del peso vivo e del relativo incremento rapportato al consumo di alimento è possibile ottenere una stima dell'efficienza di conversione dell'alimento nella fase di rimonta precoce. Questa analisi, associata al livello di morbilità, consente di avere indicazioni su quanto la nostra formulazione della dieta corrisponde al potenziale di crescita dei nostri animali.
In secondo luogo, problemi e inefficienze in questa fase sono in grado di farci capire eventuali problemi in fase di raggiungimento della pubertà e del conseguente avvio della carriera riproduttiva della singola bovina *(Costa et al., 2021)*.
Infine, come prospettiva del prossimo futuro, è utile sapere che è sempre più chiara la relazione tra prestazione produttiva sin dalla prima lattazione e accrescimento nella prima fase di vita, quella che oggi possiamo facilmente monitorare con le strumentazioni automatizzate cui abbiamo fatto cenno *(Handcock et al., 2019)*.

4.8 Descrizione del sistema raccolta, gestione ed elaborazione dati, con particolare riferimento alle analisi mediante carte di controllo e analisi delle serie temporali

Oggi, con la crescita della dimensione degli allevamenti, si impone un minimo di approccio epidemiologico entro allevamento, per poter cogliere l'opportunità offerta dalla digitalizzazione.
La zootecnia di precisione, a cui molte aziende si stanno avvicinando, fornisce quotidianamente all'allevatore una importante mole di dati. Pertanto, diventa necessario trovare il modo migliore per esaminarli e ricavarne utili informazioni; in alternativa il potenziale di questi dati andrebbe perso. Uno strumento di raccolta e analisi dei dati aziendali è quello delle carte di controllo. Le carte di controllo non sono altro che una sequenza di dati, monitorati e "messi in ordine" in modo da valutarne visivamente l'andamento e le eventuali variazioni nel tempo. Possono essere diverse le motivazioni che inducono una ciclicità non casuale delle produzioni, oppure della fertilità degli animali per esempio. Può essere molto utile quantificare quanto questa ciclicità sia normale e correlata ad aspetti fisiologici oppure sia dovuta ad altro. Le carte di controllo permettono quindi di elaborare una serie temporale di dati e, tramite una analisi statistica relativamente semplice, di avere a disposizione in azienda importanti informazioni che permettano di intervenire tempestivamente in caso di necessità. Un'altra proprietà delle carte di controllo è che possono essere disegnate definendo i limiti di variabilità fisiologica che un determinato dato ha nella singola azienda, in modo da capire quanto nella fase di monitoraggio il valore controllato si discosti rispetto a quella stessa variabilità.

Le carte di controllo possono tornare utili, ad esempio, per monitorare la quantità di alimento consumato da un gruppo di bovine, oppure per valutare il profilo dimensionale della miscelata. Lo scopo è quello di evidenziare quando una serie temporale di valori assume un andamento non dovuto al caso; le motivazioni potrebbero essere rispettivamente un'alterazione dello stato di salute degli animali e una non adeguata azione dei coltelli del carro unifeed. Altre informazioni importanti possono essere ricavate dalle carte di controllo che raccolgono e analizzano il consumo di alimento da parte dei vitelli; infatti, registrando il numero di pasti e la quantità di latte ingerito dal singolo vitello è possibile intervenire tempestivamente nel caso di un calo del consumo di latte relativo a un pasto rispetto al precedente o alla giornata rispetto alla precedente.
In tutti questi casi il sistema delle carte di controllo può rappresentare un campanello d'allarme per l'allevatore, consentendogli di intervenire rapidamente e prevenire eventuali ripercussioni sullo stato di salute degli animali *(Abeni et al., 2022)*.

4.9 L'importanza del monitoraggio delle cause di morbilità e mortalità nelle diverse fasi della vitella

Viste le continue richieste ed evoluzioni che ci troviamo ad affrontare di anno in anno, non è pensabile rimanere fedeli a una "vecchia" idea di gestione aziendale. Il miglioramento di un'azienda oggi deriva anche dalla sua innovazione, la quale comporta sicuramente degli investimenti che, uniti ad una gestione precisa e competente, avranno come conseguenza enormi vantaggi per l'allevamento.
Ci sono molte aspettative sulla capacità di poter migliorare, grazie alle nuove tecnologie, il benessere degli animali allevati agendo in un'ottica di prevenzione. In particolare, si fa riferimento ai possibili vantaggi derivanti dalla disponibilità di segnali che sensori di parametri ambientali (ad esempio, temperatura e umidità dell'aria piuttosto che concentrazione di gas nocivi), oppure presenti sulle attrezzature (esempio allattatrice automatizzata) o sull'animale (sensori auricolari) possono fornire all'allevatore, mettendo a

disposizione importanti dati e generando informazioni. Queste possono essere espresse come segnali di attenzione o allarme, andando a individuare precocemente un problema, indicando precocemente uno stato di possibile scarso benessere del singolo animale, permettendo in tal modo un intervento correttivo tempestivo sugli animali stessi o sul loro ambiente.

Ciò a cui dobbiamo puntare è un approccio preventivo grazie a un costante monitoraggio dei dati messi a disposizione dai vari sistemi digitalizzati: un rapido calo dell'appetito, testimoniato da una riduzione della velocitò di suzione e da un associato calo del quantitativo di alimento assunto possono rappresentare l'insorgere di uno stato di malessere (una patologia del sistema digerente o di quello respiratorio, ad esempio) che richiede l'intervento dell'allevatore.
In realtà, dati importanti non ci vengono forniti solamente dai sistemi di tecnologia adottati in azienda. Anche una semplice raccolta dei casi di malattia e/o di mortalità verificatisi in azienda in un certo arco di tempo può costituire la base di un sistema di supporto alle decisioni per l'allevatore, sia nel breve periodo (come eventuale campanello d'allarme in caso di aumento significativo degli eventi), sia nel medio e lungo periodo, per analizzare come fattori strutturali e gestionali possano avere inciso sul benessere e le prestazioni della giovane mandria e necessitino di essere modificati. Tuttavia, è importante sottolineare che tutto questo funziona se la raccolta e la gestione dei dati diventano una routine all'interno del sistema aziendale.

La tecnologia, insieme al monitoraggio dei dati raccolti, se correttamente utilizzati, aiuta a porre maggiore attenzione al singolo individuo, anche quando la tendenza è quella di avere allevamenti sempre più grandi in termini di numero di capi e produzioni.

4.10 Presentazione dei risultati dell'approccio statistico adottato e discussione delle relative implicazioni per la gestione del benessere e della salute della vitella

A conclusione di questo capitolo, vogliamo sottolineare, con un esempio pratico, come un adeguato monitoraggio di una delle nuove variabili disponibili, la velocità di suzione, possa dare indicazioni estremamente importanti. In Figura 6 riportiamo l'andamento della velocità di suzione espressa in percentuale del valore atteso per lo stadio di crescita della vitella. In questo modo, adottando un rapporto già corretto in funzione dell'età dell'animale, è possibile costruire una carta di controllo di facile interpretazione diretta, tale da non richiedere più correzioni dal lettore. Vediamo di coglierne il significato. Come appena affermato, dallo strumento (in questo caso il sistema di allattamento nella fase di stabulazione in gruppo) si ottiene un rapporto in formato digitale che riporta tutte le variabili rilevate e qualcuna calcolata, come nel caso proprio del rapporto tra la velocità di suzione registrata e quella attesa in base alle conoscenze sul comportamento alimentare all'età del singolo soggetto monitorato. Il grafico indica il valore medio registrato in ciascuna giornata per la vitella. La carta così realizzata evidenzia i seguenti elementi: il valore medio del dato (o limite centrale, **CL**) che nel caso specifico di questo rapporto è ovviamente il 100%; il limite inferiore (**LCL**) e superiore (**UCL**) dell'intervallo di confidenza che noi abbiamo impostato o come vero e proprio intervallo di confidenza (ad esempio al 99%, a significare che in una distribuzione normale del fenomeno osservato, il 99% delle osservazioni cadrebbe entro l'intervallo stesso, oppure come numero di deviazioni standard); il numero di punti (indicati in rosso nel grafico) che escono dall'intervallo di confidenza; il numero di punti (indicati in arancione nel grafico) che violano la regola di accettare che un dato numero di valori cada consecutivamente sotto o sopra la media, dando per acquisito che è attesa una generale equa ripartizione dei valori sotto e sopra la media stessa.

Il punto rosso indica chiaramente un valore fuori dai limiti di confidenza che sono considerati per la normale variabilità di questo tipo di rilievo per la vitella in questione. In questo caso, il valore è sopra il limite superiore, quindi non tale da destare particolari preoccupazioni che, però, sarebbero state lecite nel caso lo scostamento fosse stato sotto il limite inferiore, perché avrebbe indicato una particolare svogliatezza o inappetenza dell'animale, facilmente attribuibile ad un malessere (ad esempio, gastrointestinale). In questo caso, sarebbe stato necessario un pronto intervento per verificare la reale natura del problema.

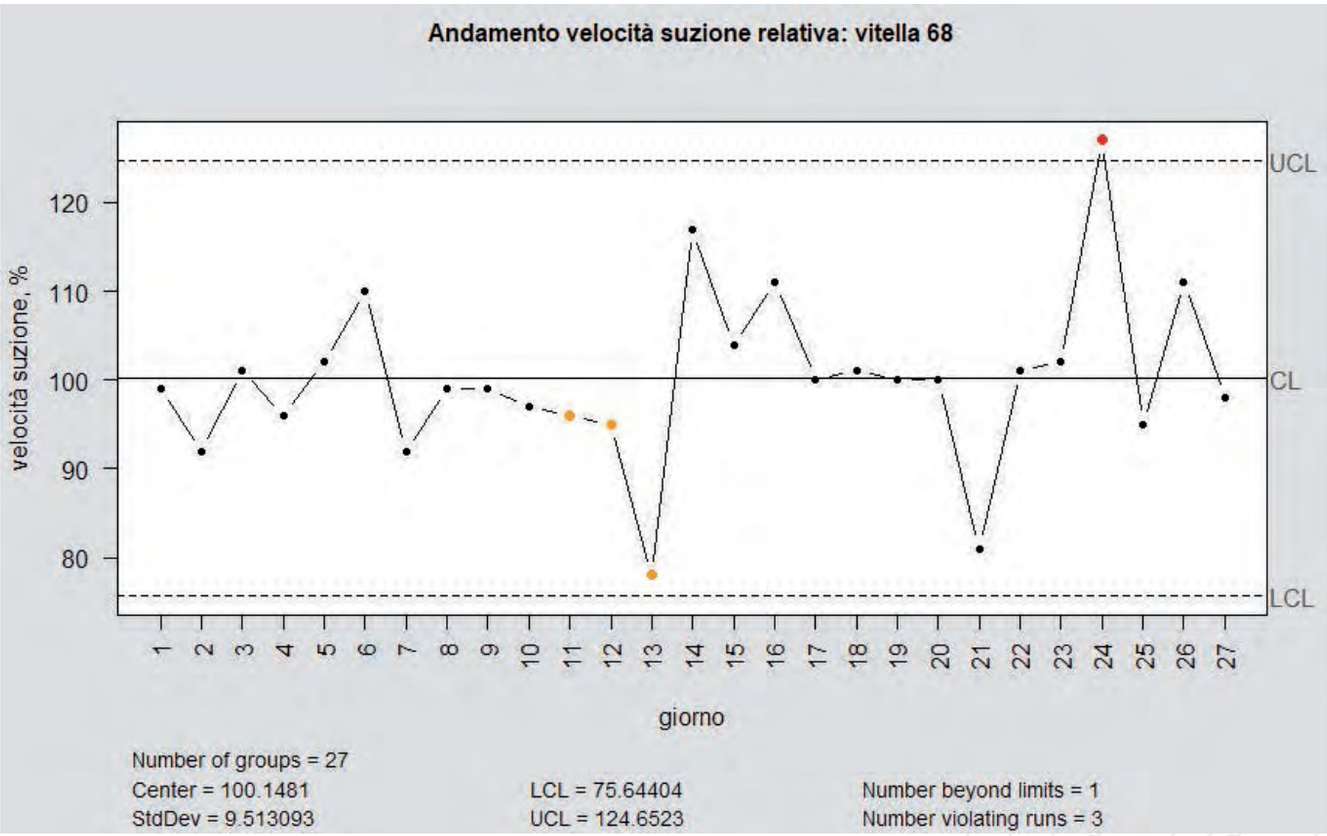


Figura 6. Esempio di carta di controllo a singola osservazione, realizzata con il dato medio giornaliero della velocità di suzione registrato per la singola vitella.

Come si può notare, esiste anche una serie di punti arancioni, che sottolineano come vi sia una serie anomala di valori consecutivamente sotto la media. In particolare, avendo impostato come regola quella del superamento di quattro registrazioni consecutive dalla stessa parte (inferiore o superiore) rispetto alla media, si vede che il quinto, sesto e settimo punto (in corrispondenza rispettivamente delle osservazioni 11, 12 e 13) sono arancioni. Come interpretare questo andamento? Se da un lato è positivo non essere caduti sotto il limite inferiore (LCL), i giorni segnalati in arancione possono essere considerati una spia di un problema che, effettivamente, tende ad acutizzarsi al giorno 13. L'animale, poi, torna ad avere valori prossimi all'atteso nei giorni seguenti, probabilmente a seguito di un intervento correttivo da parte dell'allevatore.

Finora abbiamo fatto considerazioni relative al singolo soggetto. Certamente è facile intuire il potenziale informativo derivante dal corretto utilizzo di questo tipo di registrazione e analisi del dato distribuito su tutte le vitelle in allevamento, in relazione anche all'andamento climatico o alle variazioni nel piano alimentare adottato.

In conclusione, abbiamo visto come la digitalizzazione a supporto della adozione delle tecnologie di zootecnia di precisione sia particolarmente interessante per la gestione della prima fase di vita della bovina. Sappiamo come, tradizionalmente, il ruolo della persona a cura delle vitelle (almeno nelle aziende partner) sia stato ricoperto da un membro della famiglia particolarmente motivato, vista la particolare attenzione e pazienza necessarie ad accudire questi animali e alla sensibilità richiesta verso la rilevazione di ogni segnale di scarso appetito o malessere. Oggi, questo compito è demandabile alle nuove strumentazioni e ai sensori presenti sulle stesse. Certamente, questo non dispensa l'allevatore e i suoi collaboratori dall'interessarsi a una attenta ispezione visiva dei singoli capi, ma orienta il lavoro in modo estremamente mirato e tempestivo verso i soggetti più bisognosi di attenzione, ottimizzando in tal modo la gestione dell'allevamento e portando la qualità del lavoro richiesto verso standard di formazione professionale richiesta maggiormente qualificati rispetto al passato.

5. Digitalizzazione e zootecnia di precisione per la gestione dell'alimentazione e la prevenzione delle dismetabolie

Fabio Abeni, Greta Canevaro, Rosanna Marino e Francesca Petrera
CREA-ZA, Centro di ricerca Zootecnia e Acquacoltura, sede di Lodi

5.1 Introduzione: il ruolo dell'alimentazione nella prevenzione e gestione delle dismetabolie della bovina da latte

Quando parliamo della relazione tra alimentazione e gestione delle dismetabolie nel moderno allevamento bovino da latte, dobbiamo tenere presenti questi elementi:

- l'alimentazione rappresenta la principale voce di costo aziendale nella produzione di latte bovino (AA. VV., 2022);
- le dismetabolie tipiche del periodo di transizione (chetosi metabolica in forma clinica e subclinica, in primo luogo) sono all'origine di una perdita diretta di produttività, rendono l'animale maggiormente suscettibile alle altre patologie tipiche del periparto, influenzano negativamente la fertilità e, nei casi clinici più gravi, possono determinare la perdita (o riforma) dell'animale stesso;
- la digitalizzazione della gestione dei dati in allevamento a supporto di una zootecnia di precisione può aiutare a risolvere un tipo di problematica che, diversamente, rischia di far sprecare i soldi spesi per alimentare le bovine creando una grave inefficienza nel processo produttivo aziendale.

Mentre il primo punto (incidenza dei costi per l'alimentazione) è ben noto, vogliamo qui soffermarci sul secondo aspetto, riportando i dati economici di uno studio olandese (Mostert et al., 2018) che ha quantificato il costo annuo per ciascun caso di chetosi subclinica, da sola o associata ad altre patologie ad essa correlate. Precisiamo prima di tutto cosa si intende per chetosi subclinica (SCK). A fine gestazione e ad inizio lattazione, la bovina in condizioni di carenza energetica deve attingere alle proprie riserve corporee (lipidi di deposito) per far fronte agli aumentati fabbisogni, dovuti alla crescita del feto e all'elevata produzione di colostro e, poi, di latte (quando non sono totalmente supportati dall'ingestione di alimento, ma anche per cause neurormonali e gestionali). Se l'utilizzo degli acidi grassi mobilizzati nel ciclo metabolico non è completo (per lipomobilizzazione intensa e carenza di intermediari) abbiamo produzione di corpi chetonici (soprattutto acetone e beta-idrossi-butirrato - **BHB**), con loro accumulo a livello ematico, che possono essere rilevati nel sangue, nel latte e nelle urine. Il livello critico per la diagnosi di SCK (momento in cui, in assenza di sintomi clinici, si inizia ad avere una ripercussione negativa sulla produzione di latte e sulla fisiologia della bovina, ma difficilmente rilevabile in fase precoce) è generalmente considerato quello associato a un livello di BHB nel sangue superiore a 1,2-1,4 mmol/litro. Questo comporta una serie di ricadute in termini di maggiori probabilità (in funzione del numero di lattazione in corso, e in associazione a fattori di rischio di origine ambientale e infettiva) di manifestare: mastite, metrite, dislocazione dell'abomaso (**DA**), laminite, o chetosi clinicamente manifesta, con gravi implicazioni per il benessere dell'animale che può portare alla sua riforma precoce.

Come è possibile apprezzare in Figura 1, se da un lato il costo diretto della patologia (essenzialmente per perdita di capacità produttiva) oscilla in un intervallo abbastanza stretto passando dalla prima lattazione alle successive, il numero di parti fa sentire maggiormente il suo peso nell'aggravare la probabilità di associazione della SCK alle altre patologie citate e, quindi, di aumentare il costo dovuto alla presenza del singolo caso aggiuntivo entro anno.

Un'altra problematica importante è quella relativa alla condizione di acidosi subacuta ruminale (**SARA**), per la quale non esistono studi così approfonditi sulle relazioni con le altre patologie (e quindi con le relative ripercussioni economiche), ma che ha un peso decisamente importante nella prestazione tecnico-economica della mandria se si considera che la sua prevalenza, negli allevamenti ad alta produzione, è stimata attorno al 20% nella prima fase di lattazione *(Plaizier et al., 2008)*. La digitalizzazione e la zootecnia di precisione possono dare un importante contributo al monitoraggio del livello di rischio per questo tipo di problema, favorendo di conseguenza la sua prevenzione o la precoce individuazione del suo insorgere.

In tal caso, gli **strumenti a disposizione** sono:

1. gestione dei dati degli eventi di chetosi e delle patologie che essa può favorire, attraverso un monitoraggio con carte di controllo,
2. monitoraggio degli indicatori di rischio disponibili attraverso:
   - i controlli ufficiali mensili della produttività, effettuati dalle associazioni regionali degli allevatori, che prevedono il rapporto tra grasso e proteine e, in alcune regioni quali la Lombardia, i livelli di corpi chetonici totali, acetone e BHB nel latte);
   - gli analizzatori automatizzati associati ad alcuni sistemi di mungitura (sia convenzionale che automatizzata), che forniscono indicazioni sui rapporti tra grasso e proteina del latte, ad ogni mungitura (tramite strumentazioni NIR) oppure misurano il livello di BHB nel latte, secondo un modello di campionamento e analisi (tramite biosensori) automatizzato;
   - le pese e i sistemi automatizzati di stima dello stato di ingrassamento della bovina basati sull'analisi d'immagine 3D (a scopo gestionale preventivo), per la valutazione delle variazioni della condizione corporea, in particolare nell'immediato post-parto e associati ai sistemi di mungitura robotizzati *(Truman et al., 2022)*.

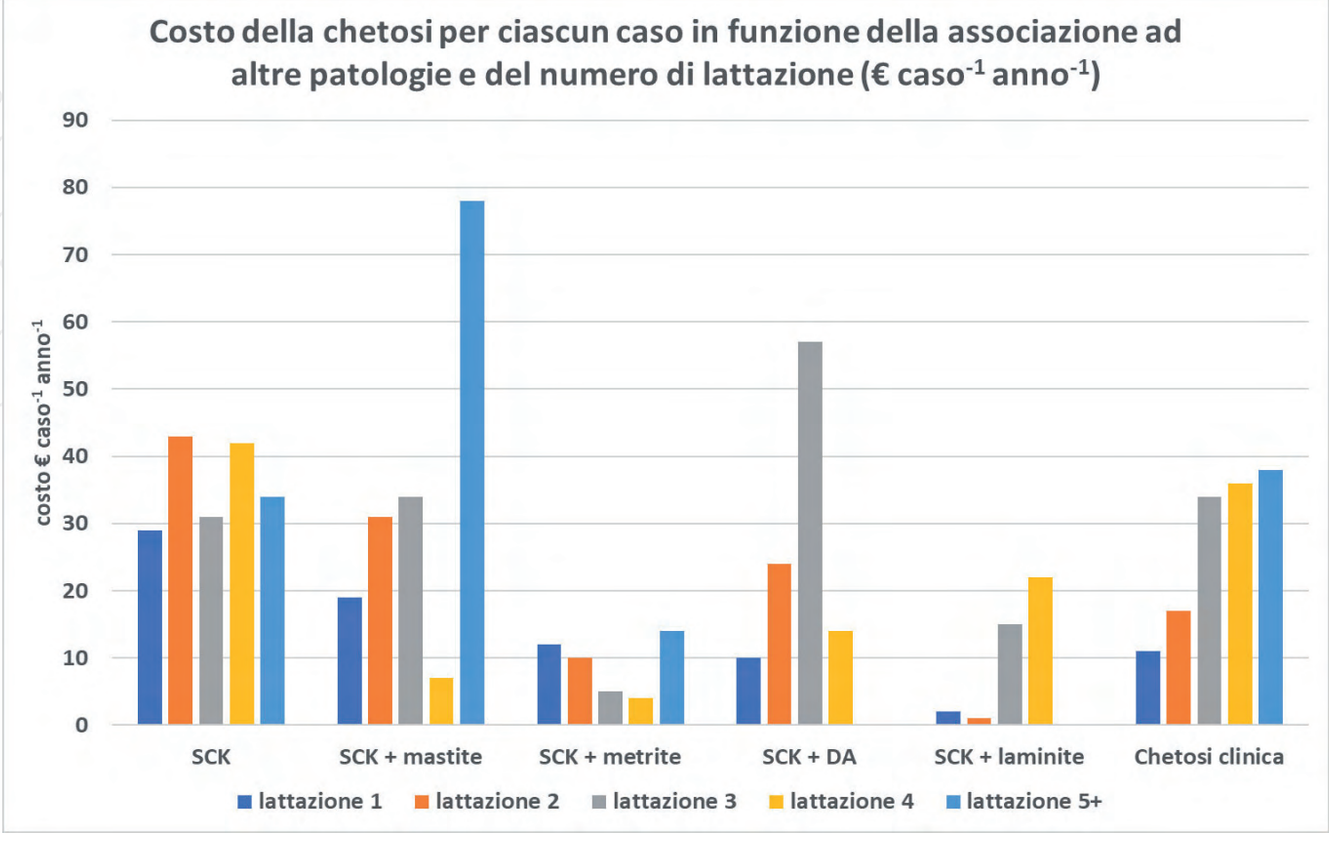


Figura 1 – Costo stimato per ciascun caso all'anno di chetosi subclinica *(SCK, dati da Mostert et al., 2018)*.

5.1.1 Spiegazione del razionale in base al quale vengono adottati i sistemi descritti

Il monitoraggio dell'incidenza delle patologie tipiche del periparto rappresenta il punto di partenza fondamentale per capire quanto ciascuna dismetabolia possa pesare sulle prestazioni tecnico-economiche di una mandria. Si parte dalla normale (ma digitalizzata) registrazione degli eventi rilevati in stalla: dalla semplice sequenza temporale degli stessi, preferibilmente su base almeno mensile, è possibile già effettuare una serie di valutazioni.

Ad un primo livello, utilizzando una carta di controllo che riporti la frequenza di una singola patologia, ad esempio la dislocazione dell'abomaso (DA), è possibile ricavare i limiti di confidenza inferiore e superiore della mandria in questione: in termini pratici, nel bene e nel male, quale è la variabilità normale del problema nell'azienda. Chiaramente, maggiore sarà il valore centrale (la media) dell'incidenza mensile della DA, più grave sarà il peso della stessa; meno chiaro può risultare, invece, il significato della variabilità della frequenza della patologia. Infatti, a parità del dato acquisito come valore medio, una maggiore variabilità dell'incidenza indicherà una scarsa capacità di controllare i fattori che la determinano. Cosa molto importante, però, è quando essa supera la soglia superiore della normale variabilità entro azienda: in questo caso, infatti, possiamo dire che il problema DA sia fuori controllo e occorra attivarsi quanto prima per comprendere le cause di questa anormale variabilità registrata.

Ad un secondo livello, se si è in grado di associare alla carta di controllo della DA una carta di controllo della incidenza di rilevazioni di capi con chetosi (correttamente diagnosticata tramite analisi del sangue o del latte individuale), possiamo comprendere se vi sia una associazione, nella stalla, tra questa dismetabolia e il maggiore rischio di DA.

Il razionale del monitoraggio del rapporto tra grasso e proteina (come indice di bilancio energetico) vale, ovviamente, sia per quanto riguarda i dati forniti dal controllo mensile della produttività (analisi effettuate in laboratori accreditati e secondo metodiche ufficiali), sia per i dati derivanti dagli impianti di mungitura dotati di sistemi di analisi NIR *in line* (dati che, anche se meno accurati di quelli del laboratorio, essendo giornalieri, possono fornire utili indicazioni). Nelle condizioni di forte ricorso alle riserve lipidiche corporee, la bovina va incontro ad un aumento del rapporto tra grasso e proteina del latte che, se supera il valore di 1,4, rappresenta un valido indicatore di rischio di chetosi subclinica *(Duffield et al., 1997)*.

Un altro razionale condiviso (almeno in Lombardia) dal sistema dei controlli ufficiali della produttività, possibile anche tramite sistemi di analisi associati agli impianti di mungitura, riguarda la determinazione diretta dei corpi chetonici nel latte per il monitoraggio dell'incidenza della chetosi e quale fattore di rischio per altre patologie. Livelli sopra soglia di queste molecole indicano scarsa capacità di utilizzare pienamente i grassi di riserva mobilizzati. Mentre nei controlli realizzati dai laboratori, mediante impiego di tecnologia MIR (basato sulla spettroscopia nel medio infrarosso; *De Marchi et al., 2014*) si possono determinare contemporaneamente (una volta disponibili le adeguate calibrazioni), acetone e BHB, nei sistemi associati alla mungitura, attualmente disponibili, si impiega una determinazione per reazione colorimetrica del solo BHB.

Il principio del monitoraggio delle variazioni dello stato di ingrassamento della bovina nel periparto, con particolare attenzione alla velocità e al grado di lipomobilizzazione nei primi giorni dopo il parto, sta nella possibilità di capire per tempo, associando anche i dati anagrafico-produttivi del singolo capo, il livello di rischio di sviluppo di una condizione di chetosi *(Li et al., 2022)*.

5.2 Esame della reportistica e possibile gestione e valorizzazione dei dati prodotti dai dispositivi esaminati nel corso del progetto

Un aspetto importante per poter sfruttare al meglio l'informazione sulle dismetabolie è la comprensibilità e qualità dell'interfaccia utente del software gestionale installato in azienda.

Vediamo nelle figure di seguito riportate, alcuni esempi di grafici consultabili dai rapporti di attenzione generati da diversi sistemi gestionali, in base alle tecnologie installate in azienda: la distribuzione delle

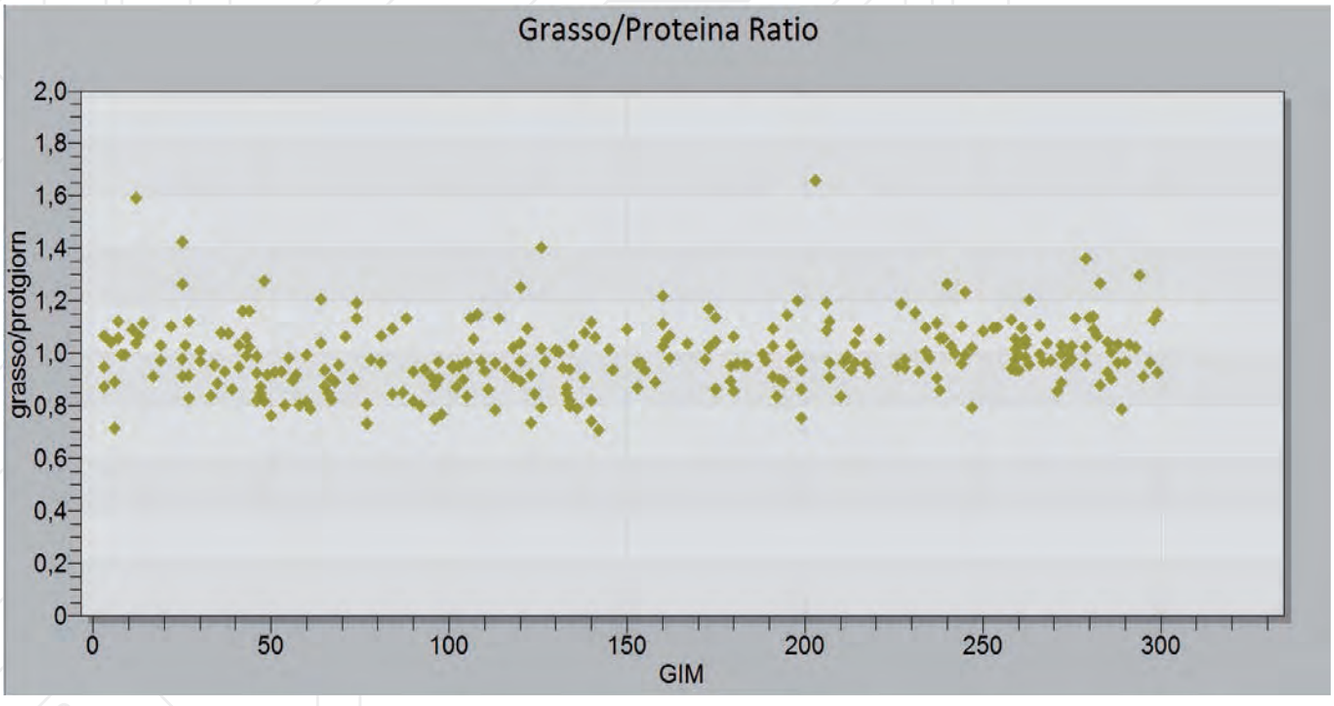


Figura 2. Distribuzione della mandria per rapporto tra grasso e proteine del latte (analizzato tramite analizzatore in line NIRS) e giorni di mungitura.

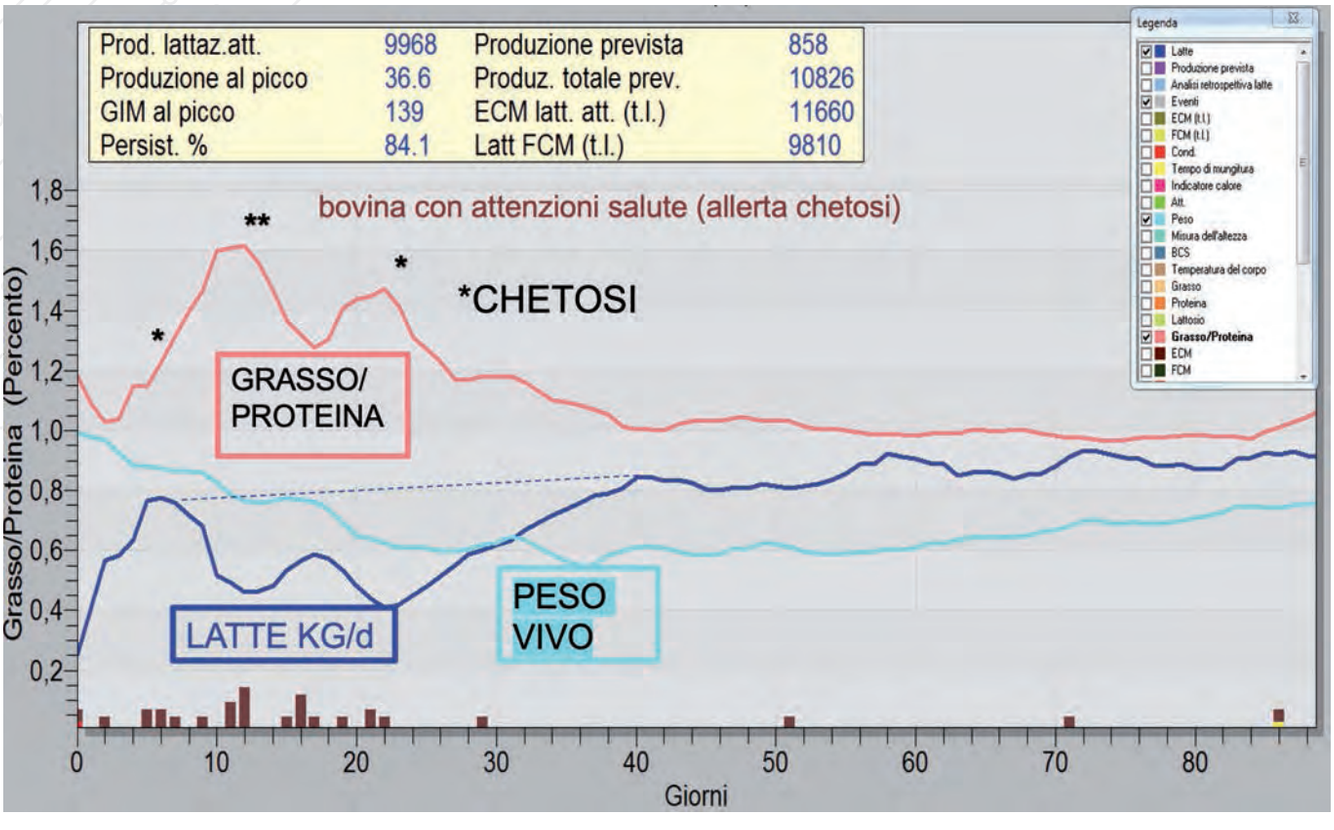


Figura 3. Grafico di una bovina in allarme chetosi nel post-parto: andamento della produzione di latte, del rapporto tra grasso e proteine e del peso vivo, determinati tramite sensori associati al sistema di mungitura.

bovine della mandria in base al rapporto tra grasso e proteina (analisi NIRS) e ai giorni di lattazione (Figura 2); gli andamenti del rapporto tra grasso e proteina, della produzione di latte e del peso vivo nei primi tre mesi di lattazione di una bovina in allerta per rischio chetosi (Figura 3) e, infine, l'andamento della produzione giornaliera di latte e del contenuto in beta-idrossibutirrato (BHB) determinato tramite analizzatore *on line* associato al sistema di mungitura in una bovina in allarme chetosi nel post parto (Figura 4).

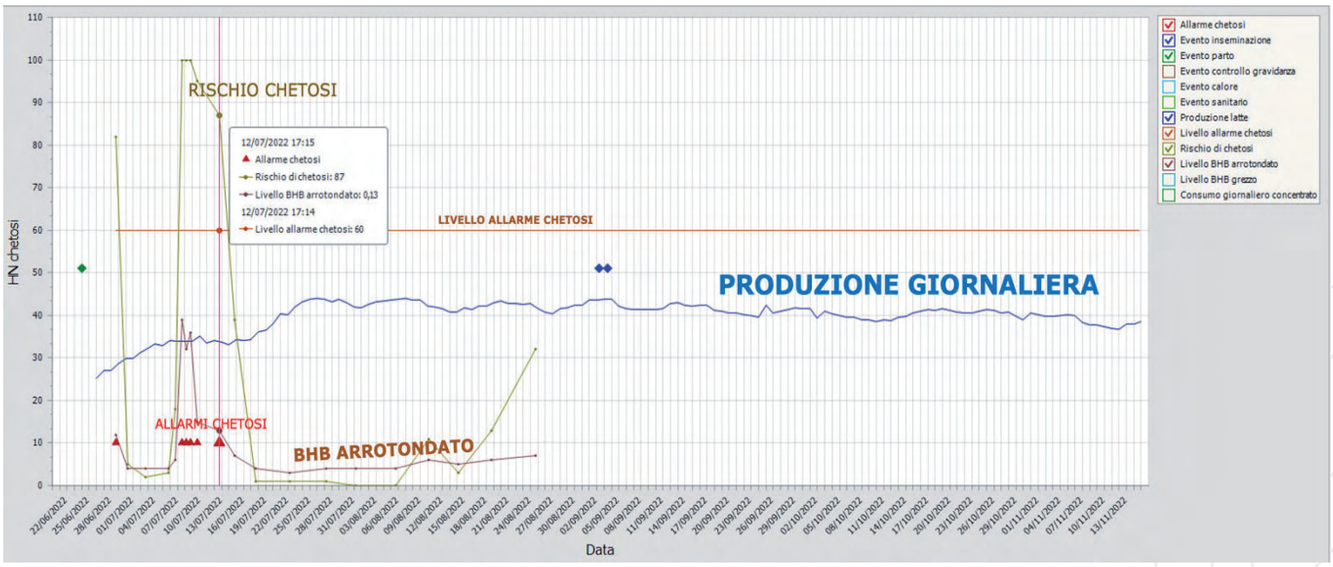


Figura 4. Andamento della produzione giornaliera di latte e del contenuto in beta-idrossibutirrato nel latte determinato tramite analizzatore on line (biosensore) associato al sistema di mungitura in una bovina in allarme chetosi nel post-parto.

L'interfaccia grafica è certamente importante; nel prossimo futuro, ci auguriamo che gli strumenti informatici siano in grado di integrare i dati derivanti da queste strumentazioni con quelli che possono derivare da altre fonti dati e consentire all'utilizzatore finale il monitoraggio statistico che ritiene più importante per le proprie esigenze.

5.3 Descrizione sistema raccolta, gestione ed elaborazione dati, con particolare riferimento alle analisi mediante carte di controllo e analisi delle serie temporali

Per un'analisi *ad hoc* dell'andamento del problema SCK (così come per la SARA), entro due dei tre allevamenti del progetto Latte Digitale è stato possibile ricorrere al monitoraggio del rapporto tra il contenuto in grasso e proteina del latte, determinati in modo automatizzato impiegando il sistema di analisi NIR installato sull'impianto di mungitura.
Ad ogni mungitura, il sistema fornisce (e memorizza) i valori medi relativi ai principali componenti del latte (grasso, proteina e lattosio) per ciascuna bovina. Il dato che è possibile trattare statisticamente, quindi, non è un dato medio giornaliero, ma quello relativo a ogni mungitura nel corso della giornata; nel caso specifico degli allevamenti nell'esempio qui trattato, vi sono da due a tre mungiture al giorno. È così possibile avere una quantificazione continua della prevalenza del problema in stalla. Per mirare la

nostra analisi verso i capi a rischio di SCK, l'analisi statistica della prevalenza viene effettuata estraendo solo i soggetti fino a 60 giorni di lattazione, periodo che viene considerato a rischio per questo tipo di dismetabolia, mentre per quello della SARA si sono estratti i dati delle mungiture fino a 120 giorni di lattazione, in accordo con quanto evidenziato da *Plaizier et al. (2008)*.

5.4 Presentazione dei risultati delle principali elaborazioni statistiche valutate e discussione delle relative implicazioni per la gestione dell'alimentazione e la prevenzione delle dismetabolie nella bovina da latte

Il prodotto che abbiamo ottenuto, per favorire un monitoraggio visivo abbastanza intuitivo anche per i non esperti di statistica, è quello di una carta di controllo (tipo "p", Figura 5) della percentuale di prevalenza mensile di SCK, calcolata dal rapporto tra il numero di mungiture individuali entro 60 giorni di lattazione che hanno manifestato un rapporto tra grasso e proteina uguale o maggiore a 1,4 e il totale delle mungiture analizzate entro tale intervallo; per la SARA (Figura 6) si è considerato come riferimento il valore dello stesso rapporto sotto 1,0.
Vediamo brevemente come leggere questo tipo di grafico. Come prima cosa, ricordiamo che la prevalenza di un problema o di una patologia è data dal rapporto tra i soggetti risultati positivi al test (presenza del problema entro un certo arco temporale, ad esempio, un mese) e il numero totale dei soggetti testati nello stesso periodo.

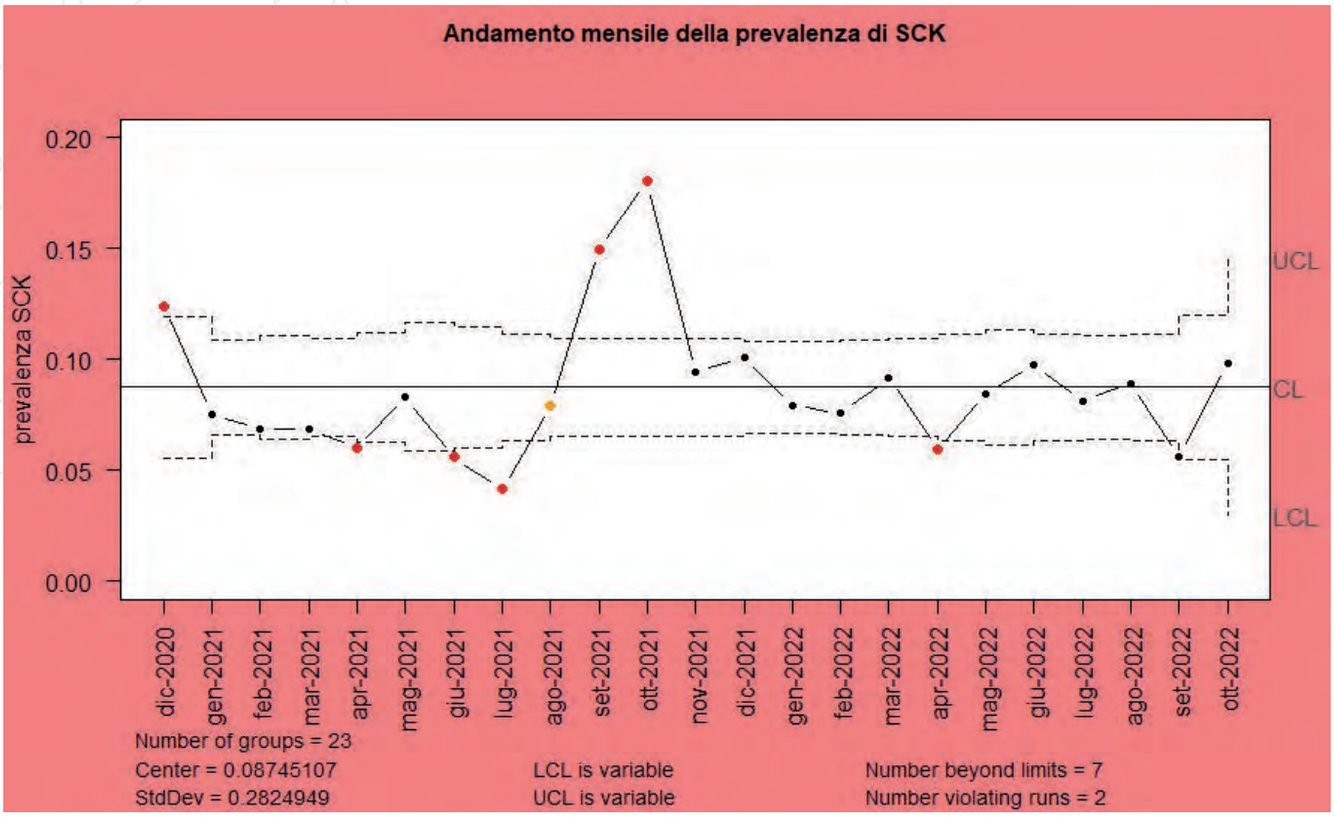


Figura 5 – Esempio di carta di controllo per il monitoraggio della prevalenza (su base mensile) della condizione di chetosi subclinica (SCK) definita dal raggiungimento e superamento della soglia di 1,4 del rapporto tra contenuto di grasso e proteina nel latte, determinato ad ogni mungitura dal sistema NIR applicato all'impianto di uno degli allevamenti del progetto Latte Digitale (dati non pubblicati).

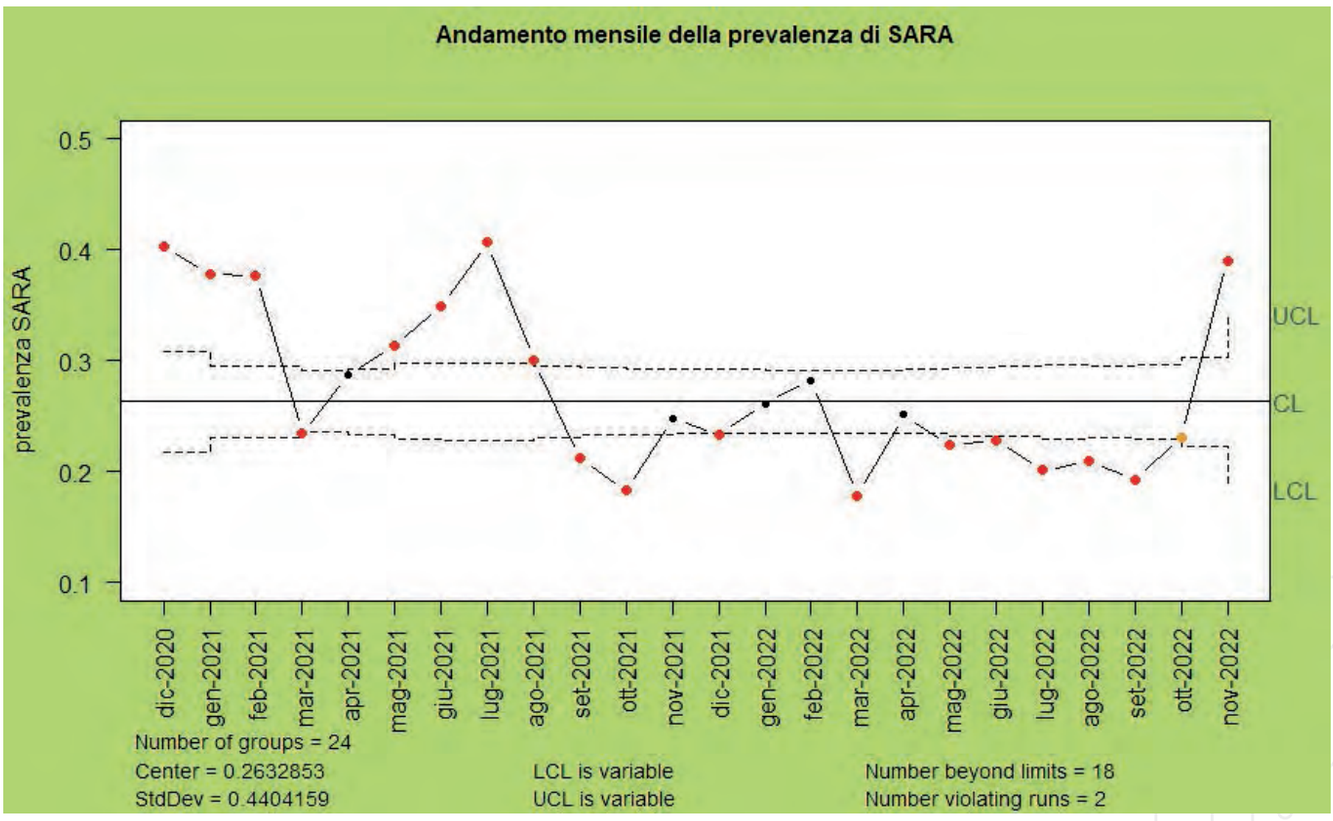


Figura 6 – Esempio di carta di controllo per il monitoraggio della prevalenza (su base mensile) della condizione di acidosi subacuta ruminale (SARA) definita da valori inferiori alla soglia di 1,0 del rapporto tra contenuto di grasso e proteina nel latte, determinato ad ogni mungitura dal sistema NIR applicato all'impianto di uno degli allevamenti del progetto Latte Digitale (dati non pubblicati).

La possibilità di controllare in continuo il valore del rapporto tra grasso e proteina quale indicatore del rischio di SCK genera una sequenza di osservazioni ad alta frequenza (rispetto, ad esempio, al tradizionale monitoraggio tramite i dati dei controlli sulla produttività individuale, a frequenza mensile). Sarà pertanto utile confrontare i dati di più allevamenti nel tempo e raffrontarli con quanto ottenuto con i controlli ufficiali della produttività. Certamente, quello che oggi viene messo a disposizione è un sistema particolarmente potente che ci consente di monitorare l'evoluzione in continuo, nella mandria, di un fenomeno quale il rischio di SCK.

Nella figura, si vede che i limiti inferiore (**LCL**) e superiore (**UCL**) che definiscono la naturale fluttuazione del fenomeno osservato entro l'allevamento sono variabili, in quanto i casi rilevati vengono rapportati alla popolazione di test eseguiti mensilmente, a sua volta variabile entro allevamento nel corso del tempo in funzione del susseguirsi dei parti e, quindi, delle fasi iniziali di lattazione.

Altri elementi importanti della grafica riportata sono: gli eventi oltre i limiti (7 nel caso riportato) e quelli che si collocano in una serie anomala, definita come sequenza di valori consecutivamente sotto o sopra il valore centrale. Gli eventi oltre i limiti, in questo caso particolare quelli sopra il limite superiore (si vedano i picchi a settembre e ottobre 2021), indicano che la prevalenza del problema ha oltrepassato la soglia di accettazione entro la variabilità "normale" (o che noi abbiamo accettato come normale nel momento in cui abbiamo definito quante deviazioni standard di scostamento possiamo accettare). Si tratta di situazioni in cui potrebbe essere tardi per agire (nel caso della chetosi, ad esempio, regolando meglio gli apporti nutrizionali delle bovine nel corso della fase terminale della lattazione, per non farle arrivare troppo grasse alla messa in asciutta e, quindi, al parto che segue). Uno strumento importante di analisi statistica estremamente pratico può essere quello di definire una accettabilità per il numero di osservazioni in serie

anomala come sopra definite e il cui sorpasso del valore soglia (esempio sette nel nostro caso) viene evidenziato dalla colorazione in giallo del punto in cui avviene. Questo significa che dobbiamo iniziare a ritenere potenzialmente non casuale la serie che stiamo osservando e possiamo ritenerla un segnale di possibile "deriva". Nel caso specifico dell'analisi della prevalenza di una patologia, la preoccupazione è relativa essenzialmente a una deriva dei valori verso l'UCL.
Stesso discorso si può fare, sempre partendo dai dati forniti dal sistema di mungitura, utilizzando un altro indicatore derivante sempre dal rapporto tra grasso e proteina che, quando scende sotto il valore di 1 può indicare una condizione di SARA *(Enemark, 2008)*. Come possiamo vedere in Figura 6, la stessa stalla monitorata mostra una maggiore prevalenza di controlli del latte che indicano potenziali problemi di SARA, con valori particolarmente alti (anche del 40% per le bovine fino a 120 giorni di lattazione) nel 2021.

In conclusione, il monitoraggio di questi dati rappresenta una grande innovazione, alla quale le stesse tecniche di analisi statistica dei dati si devono adattare per interpretare al meglio le possibili indicazioni dagli stessi derivanti. È questa l'occasione di sottolineare l'importanza di una corretta gestione e manutenzione delle strumentazioni che generano tali dati. In particolare, la fase di calibrazione e allineamento periodico con strumenti di riferimento, quali quelli che forniscono i risultati dei controlli della produttività individuale. Infine, è necessario che si inizi a promuovere un uso integrato dei dati derivanti dalle diverse strumentazioni, unitamente ad una capacità dell'allevatore e dei suoi consulenti di valutare nel medio e lungo periodo le criticità nella gestione tecnica della mandria con maggiore frequenza, per poterne individuare le cause e intervenire sulle stesse in modo efficace. Quanto appena sottolineato, rappresenta la base per poter ricavare una piena utilità dall'investimento realizzato in zootecnica di precisione, dove sicuramente la componente di automazione delle varie strumentazioni gioca un ruolo importante per l'appeal verso l'imprenditore, ma dove nel lungo periodo sarà la capacità di gestire il dato a fare la differenza tra le varie imprese.

6. Relazione fra benessere animale e zootecnia di precisione

Alessandro Gastaldo, Marzia Borciani e Ambra Motta
Fondazione CRPA Studi Ricerche, ETS di Reggio Emilia

6.1 Introduzione

La sotto-azione 2.3 del progetto Latte digitale prevedeva:
- la valutazione del benessere animale in un campione di aziende bovine da latte attraverso la metodologia IBA – Indice di Benessere dell'Allevamento con stesura per ogni allevamento di una scheda finale riassuntiva del livello di benessere animale raggiunto e dei principali punti critici evidenziati;
- l'analisi dei risultati aggregati ottenuti con le valutazioni IBA anche in relazione ai livelli di innovazione tecnologica e zootecnia di precisione presenti (Figura 1).

Gli allevamenti lombardi che hanno partecipato a questa attività sono 31 con un numero medio di vacche in lattazione pari a 262 (da un minimo di 97 a un massimo di 533).
Complessivamente, il numero totale di bovini valutati è pari a 18.234: 9.880 vacche da latte (di cui 82,3% in lattazione), 5.609 manze e 2.745 vitelli (di cui il 61,5% in pre-svezzamento).

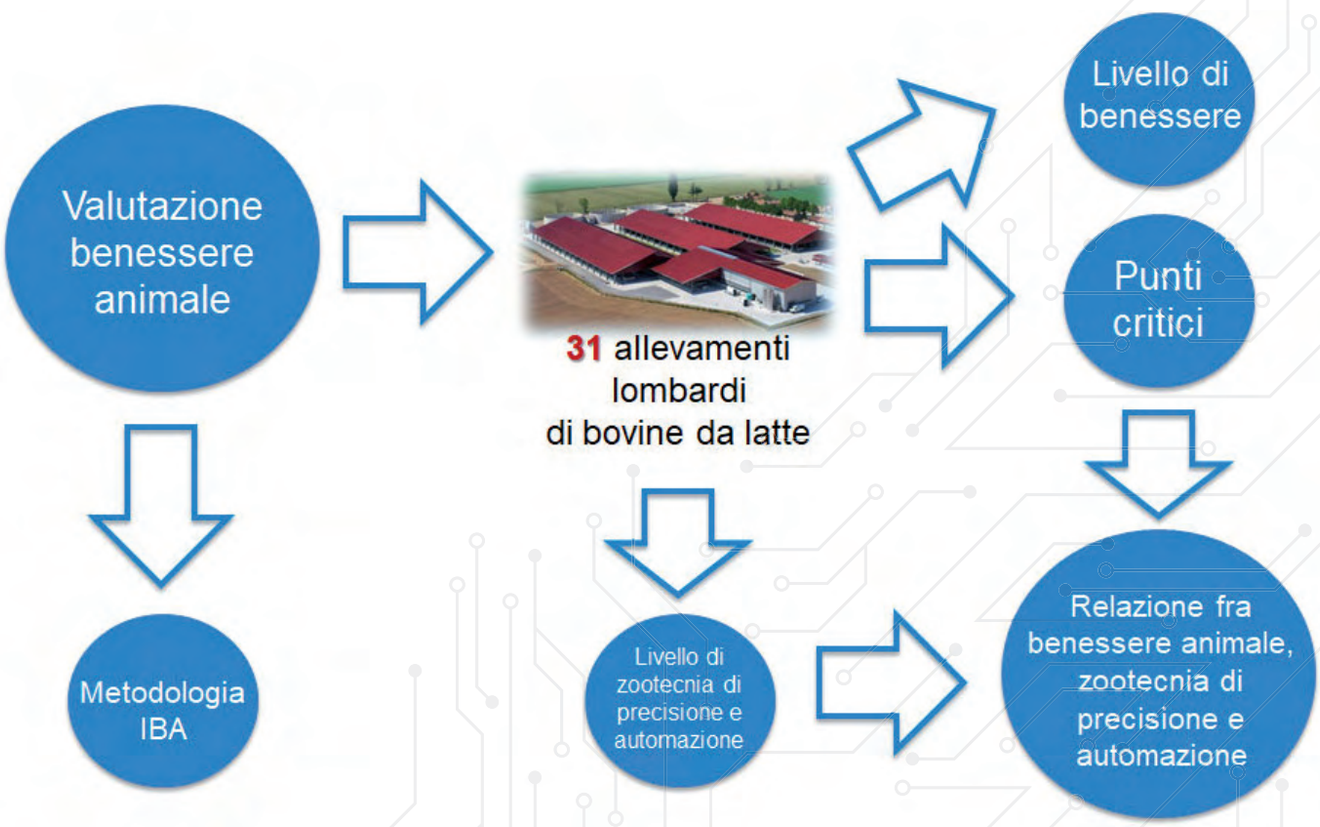


Figura 1. Illustrazione dello schema di lavoro seguito nel progetto.

6.2 La metodologia IBA (Indice di Benessere dell'Allevamento)

6.2.1 Checklist di rilievo in allevamento

Il rilievo in allevamento viene eseguito con una checklist aziendale suddivisa nelle seguenti 8 schede: scheda A – Gestione, scheda B – Edificio, scheda C – Vacche in lattazione, scheda D – Vacche in asciutta, scheda E – Bovini da rimonta, scheda F1 – Vitelli presvezzamento in box individuale, scheda F2 – Vitelli presvezzamento in box collettivo, scheda G – Vitelli postsvezzamento.
Per ogni unità aziendale, intesa come entità produttiva completa identificata da una ragione sociale, è necessario compilare una scheda generale (scheda A), una scheda per ogni edificio zootecnico (scheda B) e una scheda per ogni categoria bovina stabulata all'interno di un singolo edificio (schede C, D, E, F1, F2, G).

6.2.2 Indicatori e macroaree

Gli indicatori riguardano sia rilievi indiretti relativi ad aspetti gestionali, strutturali e stabulativi, sia rilievi diretti su tutte le categorie bovine (vacche da latte, bovini da rimonta e vitelli).
Complessivamente, gli indicatori di benessere animale sono 125 e sono suddivisi in diverse macroaree: "Gestione", relativa ad aspetti gestionali, "Edifici", relativa all'involucro edilizio, alla ventilazione e all'illuminazione delle stalle e 6 macroaree relative alle categorie bovine ("Vacche in lattazione", "Vacche in asciutta", "Manze", "Vitelli presvezzamento in box individuale", "Vitelli presvezzamento in box collettivo", "Vitelli postsvezzamento") con indicatori indiretti su caratteristiche delle diverse zone funzionali delle stalle e diretti sugli animali. In questo caso le misure vengono eseguite su un campione di animali per singola categoria bovina all'interno di ciascun edificio o all'esterno. I rilievi diretti eseguiti variano in base alla categoria bovina: per le vacche in lattazione e in asciutta si valutano la pulizia delle mammelle, le alterazioni del mantello (zone senza pelo, lesioni o gonfiori negli arti posteriori, anteriori e nel resto del corpo), le zoppie (locomotion score), mentre per i bovini da rimonta e i vitelli si valuta la pulizia corporea e solo per i vitelli si valutano le problematiche enteriche (fenomeni di diarrea).

6.2.3 Punteggi, indice, classe di merito e punti critici

La valutazione IBA prevede l'attribuzione di un punteggio totale (detto indice) e di una classe di merito per un singolo allevamento.
Il valore dell'indice posiziona l'azienda in uno dei 5 livelli prestabiliti di benessere animale (classe):

Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Livello Insufficiente	Livello sufficiente	Livello discreto	Livello buono	Livello ottimo

L'indice, a sua volta, è una sommatoria di punteggi assegnati ai singoli indicatori valutati.

6.2.4 Scheda riassuntiva

Il sistema di valutazione prevede la creazione di una scheda tecnica riassuntiva con le seguenti indicazioni:
- livello di benessere raggiunto (indice totale e per macroarea) e classe IBA (da 1 a 5);
- eventuali punti critici.

6.3 Risultati delle valutazioni IBA

6.3.1 Classe IBA totale e per macroarea

Nonostante il livello di benessere totale non scende mai al di sotto della Classe 2 – Livello sufficiente di benessere animale, ci sono 11 allevamenti con macroaree insufficienti (1 con 3, 3 con 2 e 7 con 1). La maggioranza delle insufficienze riguardano i vitelli post-svezzamento (19% degli allevamenti) e le vacche in lattazione (13% degli allevamenti).
Gli allevamenti con livello ottimo di benessere animale sono soltanto il 6%, ma se consideriamo anche il livello buono il numero di allevamenti aumenta notevolmente, superando il 45%. Le macroaree con i risultati migliori (ossia livello ottimo + livello buono) sono "Edifici" e "Vitelli presvezzamento in box individuale" rispettivamente con il 61 e il 55% degli allevamenti (tabella 1 e Figure 2 e 3).

Macroarea	Insufficiente	Sufficiente	Discreto	Buono	Ottimo
Gestione	6	29	39	26	0
Edifici	3	13	23	48	13
Vacche in lattazione	13	26	32	23	6
Vacche in asciutta	6	35	29	19	10
Manze	0	16	39	35	10
Vpre1	0	16	29	55	0
Vpre2	6	13	45	19	16
Vpost	19	61	10	10	0
IBA TOTALE	**0**	**39**	**16**	**39**	**6**

Tabella 1 – Percentuale di allevamenti suddivisi per livello di benessere (classe) per singola macroarea e totale.

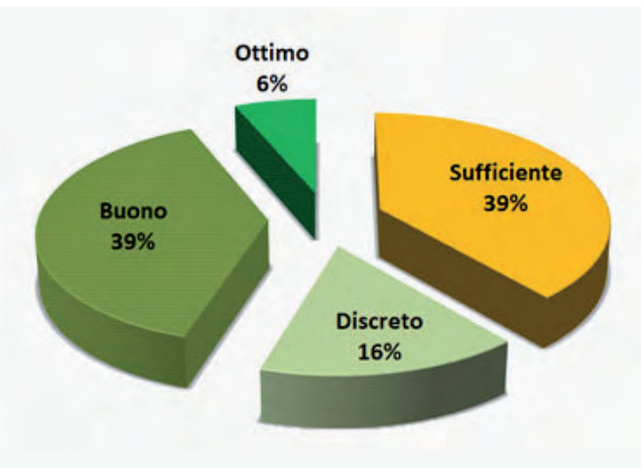


Figura 2 – Classe IBA totale: numero % di allevamenti suddivisi per livello di benessere.

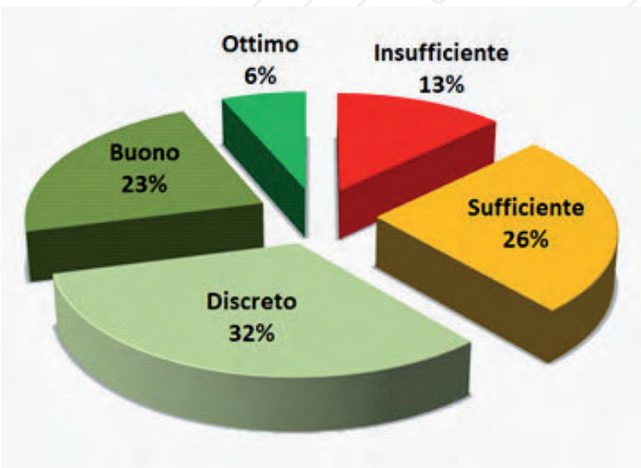


Figura 3 – Classe IBA macroarea Vacche in lattazione: numero % di allevamenti suddivisi per livello di benessere.

6.4 Analisi dei risultati aggregati

I livelli di benessere animale parziali e totali sono stati messi in relazione con i seguenti aspetti:
- automazione dell'alimentazione, ossia presenza di robot di preparazione, distribuzione e somministrazione dell'alimento e/o di avvicinamento foraggio;
- automazione della mungitura (AMS);
- zootecnia di precisione;
- gestione automatizzata dell'allevamento (automazione alimentazione e mungitura + PLF);
- % di vacche zoppe.

Le classi di benessere animale parziali e totali dell'IBA sono state accorpate in questo modo:
- livello di benessere basso (somma allevamenti con le classi IBA insufficiente e sufficiente);
- livello di benessere medio (allevamenti con la classe IBA discreto);
- livello di benessere alto (somma allevamenti con le classi IBA buono e ottimo)

6.4.1 Automazione dell'alimentazione

Nella Figura 4 sono stati messi in relazione i livelli di benessere animale dei 31 allevamenti con il sistema di automazione dell'alimentazione, ossia la presenza di robot di preparazione, distribuzione e somministrazione dell'alimento e/o di avvicinamento foraggio.
Gli allevamenti con livello alto di benessere animale sono nella maggioranza dei casi quelli con un livello elevato di automazione dell'alimentazione e, viceversa, quelli con un livello basso sono nella maggioranza dei casi quelli con assenza di automazione dell'alimentazione.

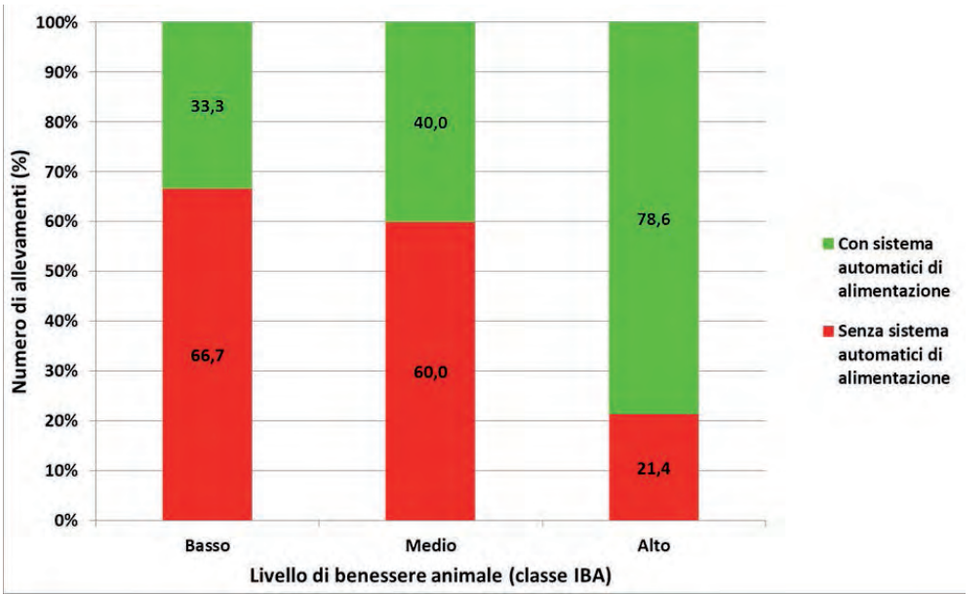


Figura 4 Sistemi automatici di alimentazione e livelli di benessere animale dell'allevamento.

6.4.2 Automazione della mungitura

Nella Figura 5 vengono messi in relazione il livello di benessere animale dell'allevamento con il sistema di automazione della mungitura, ossia la presenza di uno o più robot per mungere le bovine. Il robot di mungitura non sembra influenzare in maniera diretta il livello di benessere animale dell'allevamento il cui andamento rimane simile con o senza automazione. Lo stesso avviene anche se si considera il livello di benessere animale delle sole vacche in lattazione.

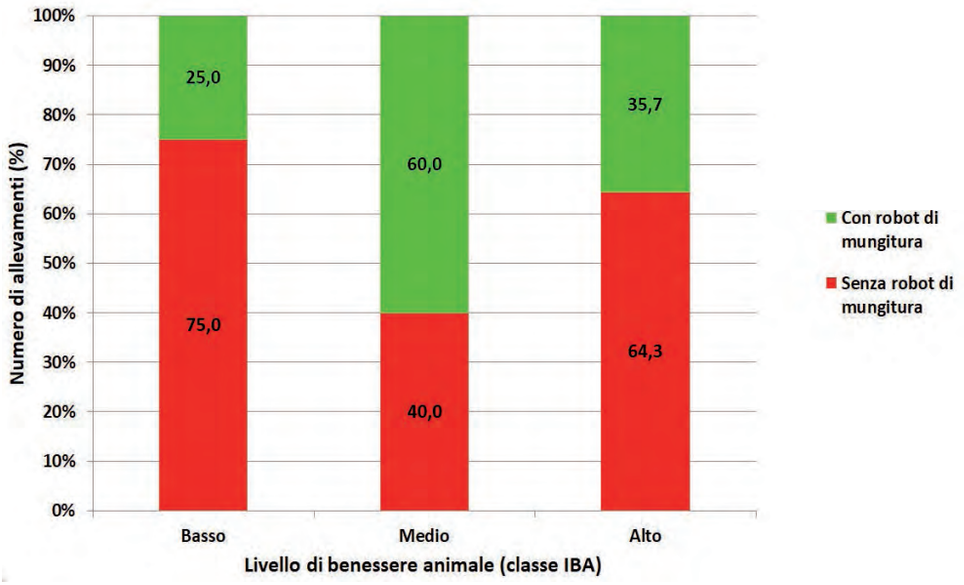


Figura 5
Robot di mungitura e livelli di benessere animale dell'allevamento.

6.4.3 Automazione dell'alimentazione

Nella Figura 6 sono stati messi in relazione i livelli di benessere animale dei 31 allevamenti con il livello di zootecnia di precisione presente negli allevamenti. La zootecnia di precisione sembra influenzare in maniera diretta il livello di benessere animale: gli allevamenti con PLF alta sono nella grande maggioranza dei casi concentrate nelle classi IBA più elevate.

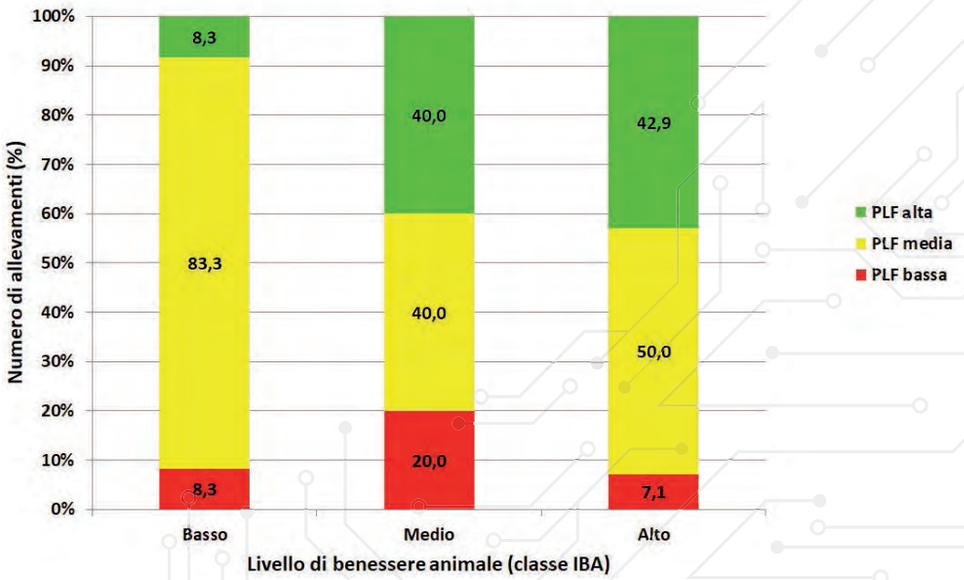


Figura 6
Zootecnia di precisione e livelli di benessere animale.

6.4.4 Gestione automatizzata dell'allevamento

Nella Figura 7 sono stati messi in relazione i livelli di benessere animale dei 31 allevamenti con il livello di gestione automatizzata che comprende sia il livello d'innovazione tecnologica sia la zootecnia di precisione. La gestione automatizzata dell'allevamento, che comprende robotica e PLF, sembra influenzare in maniera diretta il livello di benessere animale: gli allevamenti con livello alto di automazione sono nella grande maggioranza dei casi concentrati nelle classi IBA più elevate.

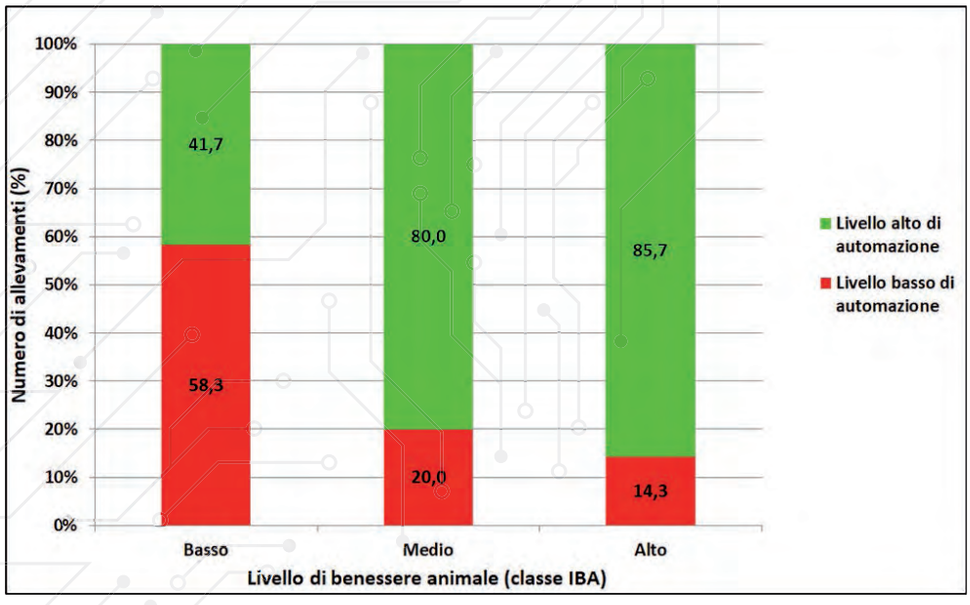


Figura 7 Gestione automatizzata e livelli di benessere animale dell'allevamento.

6.4.5 Vacche zoppe

Infine, sono state messe in relazione i livelli di benessere animale dei 31 allevamenti con il numero di vacche zoppe presenti (tabella 2).

Il livello di benessere animale dell'allevamento sembra essere fortemente correlato con il numero di vacche zoppe; infatti, l'86% degli allevamenti che hanno un livello alto di benessere animale presentano un basso rischio zoppia (≤ 4 %).

Livello di benessere animale dell'allevamento	Numero vacche zoppe (%)		
	> 8	Da 4,1 a 8	≤ 4 %
Basso	33	17	50
Medio	60	20	20
Alto	14	0	86

Tabella 2 – Numero di allevamenti suddiviso per livello di benessere animale.

7. Analisi tecnico economica

Alberto Menghi, Alessandro Gastaldo, Marzia Borciani, Ambra Motta
Fondazione CRPA Studi Ricerche, ETS di Reggio Emilia

7.1 Introduzione

In questa fase del progetto si è provveduto ad effettuare l'analisi economica di un campione di 30 allevamenti da latte lombardi. In particolare è stato calcolato il costo di produzione del latte per due diversi sottocampioni suddivisi in base alla destinazione del latte e quindi del sistema di allevamento legato al disciplinare Latte Alimentare/Grana Padano e Parmigiano-Reggiano per 9 aziende operanti nella provincia di Mantova. In seguito è stato possibile mettere in relazione il costo di produzione con il livello di benessere animale rilevato nelle stesse aziende mediante il sistema IBA e l'attribuzione del relativo punteggio.

7.2 Descrizione della metodologia *Milk Money*

La metodologia per il calcolo del costo di produzione del latte si basa sulla rilevazione di dati tecnici ed economici dell'azienda da latte tra i più facilmente accessibili a tecnici ed allevatori stessi, che vengono poi elaborati con un software *on-line* denominato *Milk Money*.

La fase di rilevazione dei dati avviene mediante l'utilizzo di un apposito questionario che viene compilato mediante interviste effettuate da un rilevatore appositamente formato con il responsabile economico dell'allevamento. Tali interviste vengono effettuate di persona e solo in casi particolari (limitazioni COVID 19 ad esempio) è possibile effettuare videointerviste o interviste telefoniche.
Il questionario permette di rilevare una serie di dati tecnici ed economici che verranno poi inseriti dal rilevatore nei relativi capitoli indicati dal software necessari per effettuare la successiva elaborazione.

La tipologia di dati che vengono richiesti sono i seguenti:

- **Utilizzazione del suolo**
  In questa categoria va specificata la modalità di utilizzo dei terreni agricoli e il relativo valore di affitto o compravendita.
- **Allevamenti**
  E' una categoria più complessa dove vengono specificate le consistenze, le compravendite delle produzioni animali, le razioni alimentari, l'efficienza tecnica dell'allevamento,
- **Fabbricati**
  Vengono specificate le tipologie di fabbricati utilizzati per l'attività agricola relativa all'allevamento da latte

- **Macchine**
  Vengono specificate le tipologie di macchine utilizzati per l'attività agricola relativa all'allevamento da latte e il loro valore a nuovo.
- **Manodopera**
  Vengono specificate le unità lavorative presenti in azienda, il loro impegno in azienda e la loro retribuzione in caso di manodopera dipendente.
- **Flussi di cassa**
  Vengono specificate le entrate (i ricavi) e gli esborsi monetari (costi) effettivamente sostenuti dall'imprenditore agricolo nel corso dell'anno.

Nelle categorie sopraindicate ricadono tutte le informazioni utili al calcolo del costo di produzione e alla redditività delle aziende da latte. Vi sono comunque delle scelte metodologiche ben precise:

Il costo del capitale fondiario: viene valutato in base al valore di affitto della terra nella zona in cui l'azienda opera.

Gli ammortamenti: prevedono la raccolta dei dati tecnici relativi al parco macchine e ai fabbricati. Non vengono richiesti informazioni sui mutui o sui prestiti di conduzione, perché l'analisi è prettamente economica e non finanziaria. Gli investimenti vengono valutati al nuovo e sulla metà del valore a nuovo si calcolano le quote di ammortamento e gli interessi sul capitale investito.

Gli interessi: sul capitale agrario e sul capitale di anticipazione il cui tasso di interesse è pari alla media del rendimento dei BOT a 12 mesi in base al principio del costo di opportunità.

La manodopera: il costo del lavoro familiare viene calcolato in base ai tempi di lavoro effettivamente svolti dal conduttore e della sua famiglia. Un prospetto apposito rileva le ore di lavoro impiegate per l'allevamento bovino e la produzione di foraggio aziendale. Alle ore del lavoro familiare viene attribuito una tariffa oraria in vigore per i lavoratori salariati negli allevamenti. Tale tariffa è comprensiva delle mensilità aggiuntive. Gli oneri sociali sul lavoro familiare vengono rilevati a parte, a questo valore si sommeranno gli importi effettivamente pagati per la manodopera salariata presente in azienda.

Tutte le informazioni raccolte permettono al software *Milk Money* di effettuare una elaborazione in grado di calcolare il costo di produzione del latte riferito ai 100/kg di latte prodotto e per vacca allevata e dedurre alcuni indicatori:

- **COSTI DIRETTI** (o espliciti) = somma di tutte le spese relative agli input aziendale effettivamente sostenute per la produzione del latte.
- **COSTI INDIRETTI** (o calcolati) = somma di tutte le spese relative ai fattori di produzione (terra, capitali e lavoro) effettivamente sostenute o calcolate.
- **COSTO TOTALE** = somma dei costi diretti + costo dei fattori di produzione .
- **PUNTO DI PAREGGIO** = (costo totale - ricavi carne - contributi - altri ricavi) - (costo terra in proprietà + costo lavoro famigliare + costo interessi capitale).

Gli indicatori economici sono poi corredati da tutti gli indici tecnici aziendali utili a interpretare gli indici economici e capire se le scelte tecniche dell'allevatore sono in linea con quelle di aziende simili operanti nella zona oppure no.

7.3 Caratteristiche del campione di allevamenti

Il campione analizzato è stato di 30 allevamenti da latte lombardi, specializzati per la produzione di latte. Le rilevazioni sono state effettuate nel 2021 ed hanno interessato i dati tecnici ed economici relativi al 2020. In fase di rilevazione dei dati si è ritenuto opportuno individuare due sottocampioni di allevamenti in base alla destinazione del latte prodotto. Un sottocampione costituito da 21 allevamenti che producono latte alimentare/Grana Padano e un sottocampione di 9 allevamenti ubicati in provincia di Mantova che producono latte destinato a Parmigiano-Reggiano. Questa distinzione si ritiene necessaria in quanto i vincoli produttivi legati ai disciplinari per le produzioni di qualità indirizzano in modo significativo le scelte tecniche ed economiche che gli allevatori devono mettere in atto per gestire le proprie aziende.
Di seguito vengono descritte alcune caratteristiche strutturali dei due sottocampioni analizzati.

7.3.1 Le aziende che producono Latte Alimentare/Grana Padano

Come si può osservare in tabella 1 da una prima elaborazione dei dati raccolti nelle 21 aziende di questo campione è stato possibile ricavare una media delle caratteristiche tecniche del campione stesso. Si tratta di allevamenti con una media di 240 bovine (in lattazione più asciutta) in prevalenza di razza Frisona che producono oltre 10.000 kg di latte per vacca per anno. Quindi la produzione media aziendale raggiunge i 2,5 milioni di kg di latte. La qualità del latte relativamente al grasso si attesta su 3,92% mentre il contenuto di proteine su 3,40 %. Per quanto riguarda le superfici, come accennato in precedenza si tratta di aziende specializzate per la produzione di latte bovino, per cui su una superficie media aziendale di 118 ettari, 95 di essi sono destinati alle coltivazioni di alimenti per il bestiame. Di queste superfici circa il 35% è in affitto mentre la restante parte è in proprietà.

INDICI TECNICI	
Vacche numero	240
Razza	Frisona
Produzione latte per vacca (kg/capo)	10.653
Produzione totale latte in kg	2.511.028
Superficie totale (ha)	118
Superficie settore latte (ha)	95
Contenuto in grasso %	3,92
Contenuto in proteine %	3,40
Vacche per ettaro foraggere (capi/ha)	3
Superficie in affitto (Ha)	42

Tabella 1. Caratteristiche tecniche medie del campione di 21 allevamenti da Latte Alimentare/Grana Padano.

INDICI TECNICI	
Vacche numero	281
Razza	Frisona
Produzione latte per vacca (kg/capo)	10.464
Produzione totale latte in kg	2.940.362
Superficie totale (ha)	127
Superficie settore latte (ha)	125
Contenuto in grasso %	3,73
Contenuto in proteine %	3,39
Vacche per ettaro foraggere (capi/ha)	2,79
Superficie in affitto (ha)	82

Tabella 2. Caratteristiche tecniche medie del campione di 9 allevamenti da Latte per Parmigiano-Reggiano.

7.3.2 Le aziende che producono latte per Parmigiano-Reggiano

Come si può osservare in tabella 2 dall'elaborazione dei dati raccolti nelle 9 aziende di questo campione è stato possibile ricavare una media delle caratteristiche tecniche del campione stesso. Si tratta di allevamenti con una media di 281 bovine (in lattazione più asciutta) in prevalenza di razza Frisona che producono 10.464 kg di latte per vacca per anno. Quindi la produzione media aziendale raggiunge i 2,9 milioni di kg di latte. La qualità del latte relativamente al grasso si attesta su 3,73% mentre il contenuto di proteine su 3,39 %. Per quanto riguarda le superfici, su una superficie media aziendale di 127 ettari, 125 di essi sono destinati alle coltivazioni di alimenti per il bestiame. Di queste superfici circa il 64% è in affitto mentre la restante parte è in proprietà.

7.4 L'analisi del costo di produzione

L'analisi dei dati raccolti ha permesso l'elaborazione nei due sottocampioni indicati: Latte Alimentare/ Grana Padano e le aziende del Parmigiano-Reggiano.

7.4.1 Il costo di produzione del latte nelle aziende da Latte Alimentare/Grana Padano

Nella Figura 1 viene riportata l'elaborazione del costo di produzione totale per ogni singolo allevamento dei 21 individuati in questo sottocampione. Il risultato viene espresso in Euro/100 kg di latte prodotto. L'analisi si riferisce ai dati tecnici economici 2020. Come si può osservare da questa elaborazione i risultati sono piuttosto omogenei e compresi tra i 40 e i 56 €/100 kg prdotto. Solo in un caso (l'azienda N. 2) il costo di produzione è di poco sotto i 40 €/100 kg di latte.

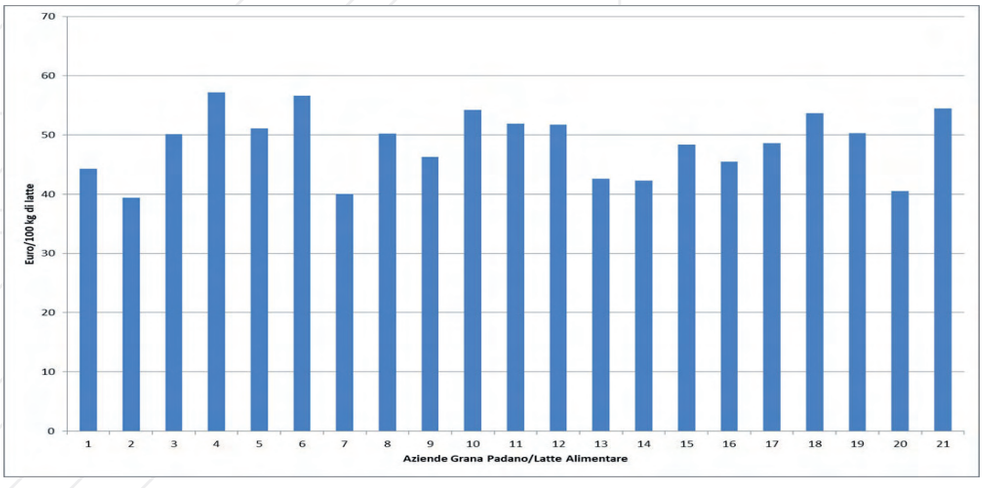


Figura 1. Il costo di produzione totale nelle 21 aziende del sottocampione Latte Alimentare/ Grana Padano (anno 2020).

7.4.2 Il costo di produzione del latte nelle aziende da Latte per Parmigiano-Reggiano

Nella Figura 2 viene riportata l'elaborazione del costo di produzione totale per ogni singolo allevamento dei 9 individuati in questo sottocampione. Il risultato viene espresso in Euro/100 kg di latte prodotto. L'analisi si riferisce ai dati tecnici economici 2020. Come si può osservare da questa elaborazione i risultati sono piuttosto omogenei e compresi tra i 50 e i 60 €/100 kg prdotto. Solo in un caso (l'azienda N.4) il costo di produzione supera i 70 €/100 kg di latte.

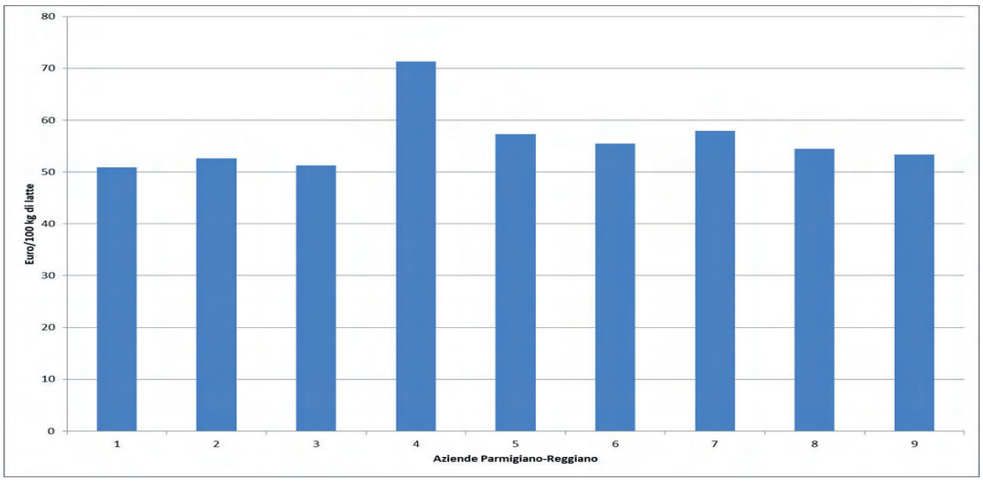


Figura 2. Il costo di produzione totale nelle 9 aziende del sottocampione Parmigiano-Reggiano (anno 2020).

7.4.3 Il costo di produzione medio del latte nelle aziende analizzate

In tabella 3 si può osservare il risultato medio dell'analisi in forma tabellare con l'evidenza delle singole voci di costo per il sottocampione Latte Alimentare/Grana Padano. Come si può osservare in tabella il costo medio di produzione totale è risultato pari a 48,27 €/100 kg di latte prodotto. La voce di costo maggiormente rilevante è quella relativa all'acquisto dei mangimi per un valore di 13,49 €/100 kg di latte prodotti.

Tra i costi per i fattori di produzione la voce più rilevante è quella relativa alla manodopera che tra familiare e dipendente è pari a 9,03 €/100 kg di latte. Nel complesso i costi diretti incidono per il 63% sul costo totale mentre i costi per i fattori di produzione il restante 37%. Il punto di pareggio (break even point) è stato calcolato in 36,97 €/100 kg di latte, si tratta di un valore che indica il livello di ricavi necessari per coprire le spese correnti ed evitare che l'azienda possa avere problemi di cassa.

COSTI DIRETTI	Euro/100kg	Euro/capo	Euro	%
Mangimi acquistati	13,49	1.413	338.762	28%
Foraggi acquistati	2,97	311	74.557	6%
Materie prime produzione foraggi	2,06	216	51.853	4%
Acquisto animali	0,63	66	15.714	1%
Veterinario + Medicinali + inseminazioni	2,38	250	59.860	5%
Energia (carburanti + elettricità)	2,09	219	52.388	4%
Acqua (stalla + irrigazione foraggi)	0,39	41	9.908	1%
Assicurazioni	0,64	67	16.130	1%
Contoterzi	1,32	138	33.176	3%
Manutenzione fabbricati	0,66	70	16.691	1%
Manutenzione macchine	1,27	133	31.934	3%
Imposte e tasse	0,33	35	8.331	1%
Costo spandimento liquame	0,07	8	1.848	0%
Costi specifici settore latte	1,02	107	25.557	2%
Costi generali	1,00	105	25.091	2%
TOTALE COSTI DIRETTI	**30,34**	**3.178**	**761.801**	**63%**
COSTO FATTORI DI PRODUZIONE	Euro/100kg	Euro/capo	Euro	%
Ammortamento macchine	1,91	200	48.032	4%
Ammortamento fabbricati	2,66	278	66.699	6%
Costo terra in proprietà	1,57	164	39.302	3%
Costo terra non in proprietà	1,65	173	41.505	3%
Costo lavoro famigliare + contributi	4,34	455	108.974	9%
Costo lavoro dipendente	4,69	492	117.824	10%
Interessi capitale agrario	0,82	86	20.669	2%
Interessi capitale anticipazione	0,28	30	7.148	1%
TOTALE COSTO FATTORI DI PRODUZIONE	**17,93**	**1.878**	**450.154**	**37%**
COSTO DI PRODUZIONE TOTALE	**48,27**	**5.056**	**1.211.955**	**100%**
PUNTO DI PAREGGIO	**36,97**	**3.939**	**889.605**	

Tabella 3. Costo medio di produzione del latte in 21 aziende lombarde nel 2020.

In tabella 4 si può osservare il risultato medio dell'analisi in forma tabellare con l'evidenza delle singole voci di costo per il sottocampione Parmigiano-Reggiano. Come si può osservare in tabella il costo medio di produzione totale in questo caso è risultato pari a 56,52 €/100 kg di latte prodotto. La voce di costo maggiormente rilevante è quella relativa all'acquisto dei mangimi per un valore di 20,54 €/100 kg di latte prodotti.

Tra i costi per i fattori di produzione la voce più rilevante è quella relativa alla manodopera che tra familiare e dipendente è pari a 7,49 €/100 kg di latte. Nel complesso i costi diretti incidono per il 67% sul costo totale mentre i costi per i fattori di produzione sul restante 33%. Il punto di pareggio *(break even point)* è stato calcolato in 45,04 €/100 kg di latte.

COSTI DIRETTI	Euro/100kg	Euro/capo	Euro	%
Mangimi acquistati	13,49	1.413	338.762	28%
Foraggi acquistati	2,97	311	74.557	6%
Materie prime produzione foraggi	2,06	216	51.853	4%
Acquisto animali	0,63	66	15.714	1%
Veterinario + Medicinali + inseminazioni	2,38	250	59.860	5%
Energia (carburanti + elettricità)	2,09	219	52.388	4%
Acqua (stalla + irrigazione foraggi)	0,39	41	9.908	1%
Assicurazioni	0,64	67	16.130	1%
Contoterzi	1,32	138	33.176	3%
Manutenzione fabbricati	0,66	70	16.691	1%
Manutenzione macchine	1,27	133	31.934	3%
Imposte e tasse	0,33	35	8.331	1%
Costo spandimento liquame	0,07	8	1.848	0%
Costi specifici settore latte	1,02	107	25.557	2%
Costi generali	1,00	105	25.091	2%
TOTALE COSTI DIRETTI	**30,34**	**3.178**	**761.801**	**63%**
COSTO FATTORI DI PRODUZIONE	Euro/100kg	Euro/capo	Euro	%
Ammortamento macchine	1,91	200	48.032	4%
Ammortamento fabbricati	2,66	278	66.699	6%
Costo terra in proprietà	1,57	164	39.302	3%
Costo terra non in proprietà	1,65	173	41.505	3%
Costo lavoro famigliare + contributi	4,34	455	108.974	9%
Costo lavoro dipendente	4,69	492	117.824	10%
Interessi capitale agrario	0,82	86	20.669	2%
Interessi capitale anticipazione	0,28	30	7.148	1%
TOTALE COSTO FATTORI DI PRODUZIONE	**17,93**	**1.878**	**450.154**	**37%**
COSTO DI PRODUZIONE TOTALE	**48,27**	**5.056**	**1.211.955**	**100%**
PUNTO DI PAREGGIO	**36,97**	**3.939**	**889.605**	

Tabella 4. Costo medio di produzione del latte in 9 aziende lombarde nel 2020.

7.5. Possibile correlazione tra benessere animale e costo di produzione del latte

Dalle analisi effettuate è stato quindi possibile calcolare il costo di produzione del latte per tutte le 30 aziende incluse nel campione. Questo dato è stato messo in relazione con le valutazioni di benessere animale effettuate nelle medesime aziende e nello stesso periodi di riferimento. Nel Figura 3 e nel Figura 4 sono stati riportati i punteggi di benessere animale espressi in IBA dei due sottocampioni individuati.

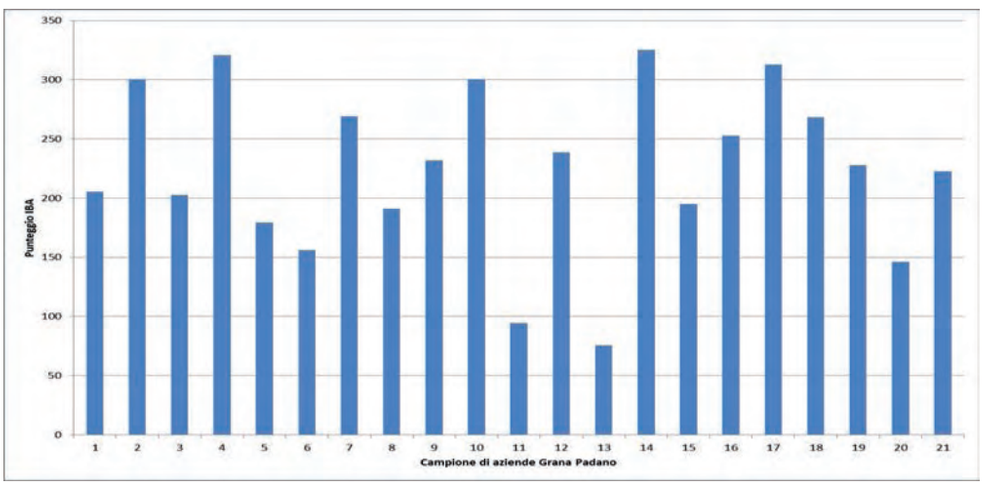


Figura 3. Valori di IBA nelle 21 aziende che producono Latte Alimentare/ Grana Padano.

Come si può osservare dalla Figura è presente una forte variabilità compresa tra i 75 e i 325 punti IBA

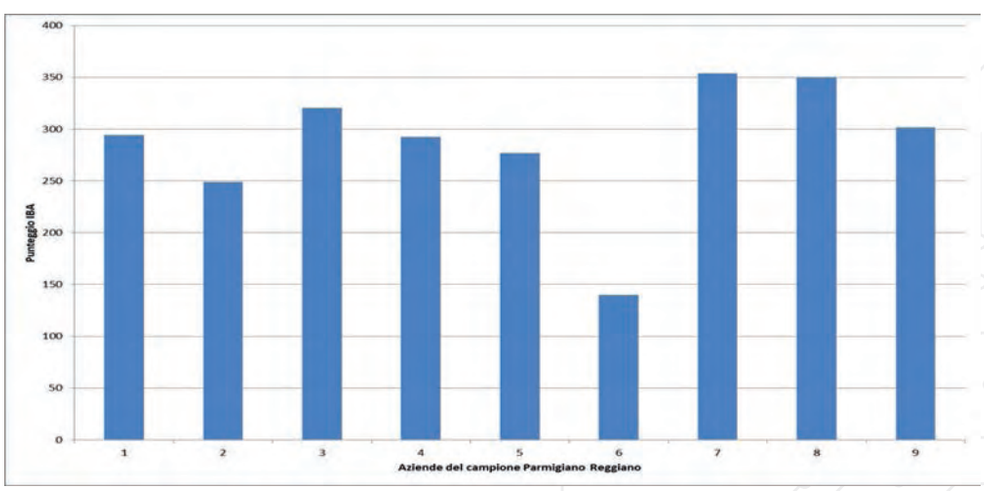


Figura 4. Valori di IBA nelle 9 aziende che producono Parmigiano-Reggiano.

Come si può osservare dalla Figura anche in questo caso è presente una forte variabilità compresa tra i 140 e i 353 punti IBA.
Dalla combinazione delle due variabili, costo di produzione totale e punteggio IBA è stato possibile ottenere delle curve di tendenza per ciascuno dei due sottocampioni.

7.5.1 Costo di produzione e IBA negli allevamenti da Latte Alimentare/Grana Padano

Come si può osservare dalla Figura 5 mettendo in relazione il costo di produzione, sull'asse verticale, con il punteggio IBA nell'asse orizzontale degli allevamenti analizzati, si ottiene una retta di tendenza che all'aumentare del punteggio IBA vede diminuire il costo di produzione totale. In pratica un'azienda con un punteggio IBA di 100 punti produce il latte ad un costo medio di 49,28 €/100 kg di latte.

Nelle aziende che hanno un punteggio intorno ai 300 punti possono potenzialmente produrre latte ad un costo di 44,04 €/100 kg di latte. Per sintetizzare si potrebbe dire che ciascun punto IBA aggiuntivo può ridurre potenzialmente il costo di produzione di 0,026 €.

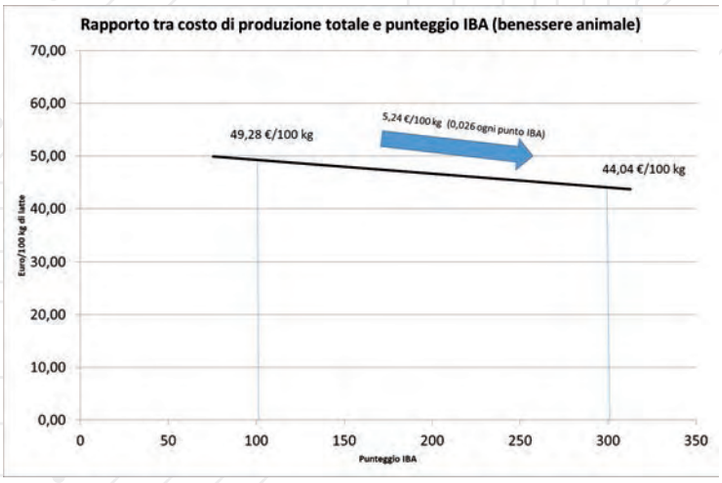


Figura 5. Rapporto tra costo di produzione totale e punteggio IBA in allevamenti da Latte Alimentare/ Grana Padano.

Questo risultato mette in evidenza come gli allevamenti meglio gestiti e organizzati riescono più facilmente a raggiungere buoni punteggi di benessere animale e dall'altro lato sono anche quegli allevamenti in cui la produttività per vacca è mediamente più elevata permettendo di abbassare il costo di produzione per unità prodotta.

7.5.2 Costo di produzione e IBA negli allevamenti da Latte per Parmigiano-Reggiano

Anche in questo caso come si può osservare dalla Figura 6 all'aumentare del punteggio IBA il costo di produzione tende a diminuire. Le aziende che hanno un punteggio IBA pari a 150 potenzialmente possono produrre latte ad un costo di produzione pari a 57,83 €/100 kg di latte, all'aumentare del punteggio IBA fino a 300 si può potenzialmente ridurre il costo di produzione a 52,73 €/100 kg di latte. In questo caso ogni punto aggiuntivo IBA può ridurre il costo di produzione di 0,025 €.

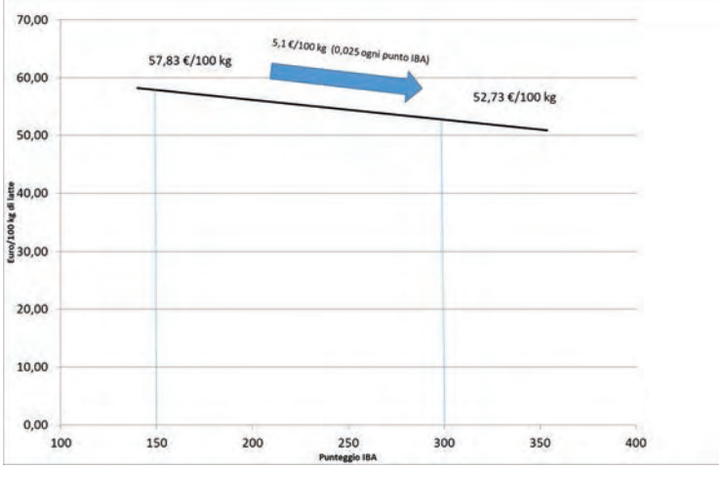


Figura 6. Rapporto tra costo di produzione totale e punteggio IBA in allevamenti da Latte per Parmigiano-Reggiano.

In sostanza anche nelle aziende che producono Parmigiano-Reggiano si manifesta lo stesso tipo di correlazione. Si tratta ovviamente solo di dati indicativi che visti i numeri limitati dei campioni non possono avere rilevanza statistica, ma possono dare delle indicazioni empiriche ed una quantificazione dell'impatto del benessere animale in termini di costi di produzione.

8. Primi dati su digitalizzazione e zootecnia di precisione nell'allevamento bovino da latte in Lombardia

Fabio Abeni, Greta Canevaro, Rosanna Marino, Francesca Petrera
CREA-ZA, Centro di ricerca Zootecnia e Acquacoltura, sede di Lodi

8.1 Gli aspetti collegati alla diffusione dell'innovazione in agricoltura: le specificità della digitalizzazione e della zootecnia di precisione

Quella in atto nella agricoltura e, nel nostro specifico, nella zootecnia è certamente classificabile come una nuova rivoluzione, pari a quelle che in passato sono state rappresentate dalla introduzione dei fertilizzanti di sintesi o, sempre nel nostro caso specifico della zootecnia, dalla introduzione della mungitura meccanica e della inseminazione artificiale.

Le "regole non scritte" (ma da tempo studiate) che definiscono le varie tappe della introduzione e diffusione di una innovazione in un determinato ambito produttivo sono ben delineate in un libro di *Rogers (1983)*. Partendo dalla Figura 1, adattamento di una immagine creata dallo stesso Rogers, possiamo considerare i vari fattori che determinano sia l'introduzione di una innovazione, sia il suo maggiore o minore successo e, in ultima analisi, la sua possibilità di attecchire nel tempo sul substrato produttivo per cui è stata creata. In particolare, si vuole sottolineare come il momento della persuasione dell'imprenditore (il secondo passaggio) sia fortemente condizionato dalle caratteristiche dell'innovazione che esso percepisce. Il vantaggio relativo è dato da quanto l'innovazione può dare rispetto alla situazione produttiva precedente: vale la pena darsi da fare (sia finanziariamente che intellettualmente e praticamente) per introdurla nella propria azienda? La compatibilità è una delle condizioni che, vedremo in questo capitolo, è più sentita quando si parla di innovazione digitale. Infatti, è necessario che una nuova strumentazione si inserisca pienamente (o quantomeno con minimi adeguamenti) nel sistema produttivo aziendale; diversamente, nella valutazione della adozione di una nuova strumentazione dovrebbe entrare in gioco un insieme di considerazioni tecnico-economiche collegate ad una più ampia revisione della struttura aziendale stessa. La complessità è un altro aspetto fortemente presente nella valutazione delle innovazioni digitali, in quanto la tradizionale configurazione del personale negli allevamenti non prevede, se non in forma di predisposizione individuale di qualche operatore, competenze informatiche che consentano una pronta comprensibilità del funzionamento della strumentazione stessa. La processabilità fa riferimento alla reale possibilità di inserire la strumentazione nella propria realtà produttiva, mentre l'osservabilità si riferisce alla possibilità dell'imprenditore di verificare, prima della decisione di investimento, la reale operatività della strumentazione in condizioni produttive comparabili alla sua.

In ogni processo di introduzione di una innovazione è facile distinguere cinque categorie di predisposizione dell'imprenditore. La prima, rappresentata dal 2,5% della popolazione di potenziali acquirenti, è quella del cosiddetto "innovatore", sempre attratto dalle nuove idee che lo portano fuori dalle visioni ristrette locali. La seconda è quella di "adottatore precoce", caratterizzata da una certa attitudine alla leadership in molte situazioni e che rappresenta un 13,5% della popolazione di riferimento. Segue la "maggioranza precoce",

che rappresenta un terzo della popolazione e che interagisce frequentemente con i propri colleghi. Un altro terzo di popolazione è quella detta della "maggioranza tardiva" che sceglie l'innovazione solo a seguito della percezione di una certa pressione da parte dei propri colleghi, valutate le necessità economiche, ma caratterizzata da una certa prudenza. Infine, vi sono i cosiddetti "ritardatari", che non hanno ruoli di leadership a nessun livello e in nessun ambito, sono spesso isolati e sospettosi nei confronti delle innovazioni.

Per gran parte delle innovazioni digitali del settore zootecnico, in questa fase, stiamo probabilmente assistendo alla adozione da parte dei cosiddetti "adottatori precoci". Tuttavia, nell'ambito del progetto Latte Digitale, ci sentiamo di affermare che le aziende partner hanno avuto il ruolo, per le loro specifiche scelte, di "innovatori".

Certamente, esistono sempre delle relazioni tra il carattere dell'imprenditore, le sue scelte nel recente passato, la sua propensione all'innovazione e le attuali caratteristiche strutturali dell'azienda *(Adrian et al., 2005)*. In ogni caso, esiste soprattutto una forte relazione tra la percezione dell'utilità pratica derivante dalla adozione di una innovazione e la percezione della sua utilità dal punto di vista del risultato economico dell'azienda *(Adrian et al., 2005)*.

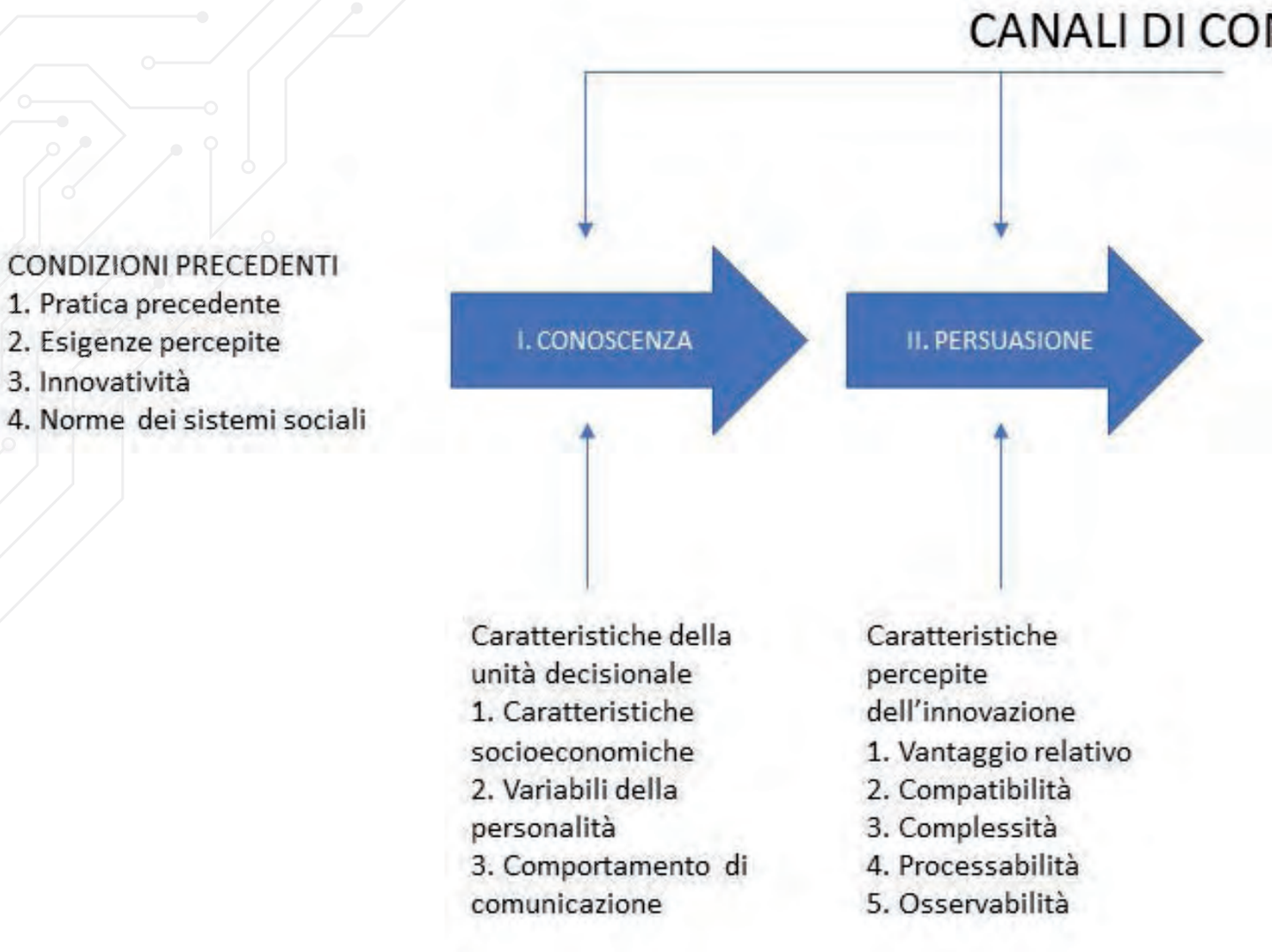
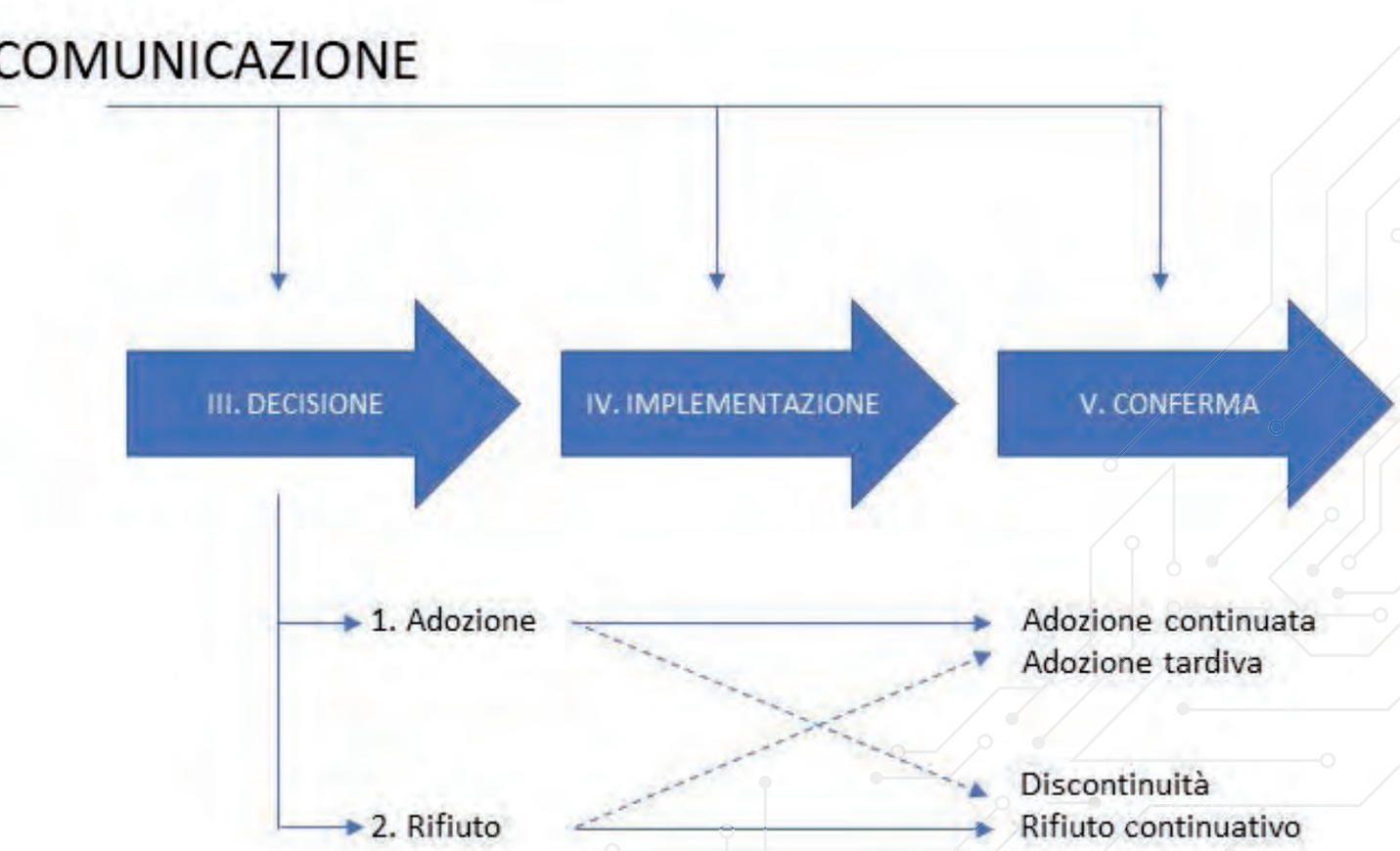


Figura 1. Modello degli stadi del processo di decisione dell'innovazione *(adattata da Rogers, 1983).*

In Italia, esistono pochissimi studi sulla situazione di digitalizzazione e introduzione della zootecnia di precisione (o PLF) nelle aziende. Lo studio che ha coperto il maggior areale, quello nazionale, è quello condotto dall'*ISTAT (2021)* che, molto saggiamente, prende in considerazione, come punto di partenza, alcune caratteristiche più generali dell'impresa e dell'imprenditore in termini di propensione verso le tecnologie digitali anche di uso quotidiano: uso di connessioni a banda larga; attivazione di un sito web o di profili social; utilizzo di servizi di *cloud computing*.

Date queste prime caratteristiche "introduttive", dallo studio (condotto nel 2020) emerge come il settore Nord-Ovest del nostro paese, quello che comprende la Lombardia, sia quello con il maggiore grado di adozione di strumenti di PLF (52,1 % delle aziende intervistate), anche se, per il tipo di indagine e per i suoi scopi tecnici, non emerge una caratterizzazione delle principali famiglie di strumentazioni presenti. Sempre in tale indagine, emerge come le prime tre motivazioni per il ricorso alla PLF siano *(ISTAT, 2021)*: "Facilità nella condivisione di informazioni e conoscenze" (24,1 %), "Efficienza nella gestione della mandria" (20,6 %), "Efficienza dei processi produttivi" (14,9 %).



I. Conoscenza: la persona diventa consapevole di un'innovazione e ha un'idea di come funziona
II. Persuasione: la persona forma un atteggiamento favorevole o sfavorevole verso l'innovazione
III. Decisione: la persona si impegna in attività che portano alla scelta di adottare o rifiutare l'innovazione
IV. Implementazione: la persona mette in uso un'innovazione
V. Conferma: la persona valuta i risultati di una decisione di innovazione già presa

8.2 Valutazione della diffusione dell'innovazione digitale e della zootecnia di precisione negli allevamenti lombardi di bovine da latte

Con questo studio entro il progetto Latte Digitale, finanziato da Regione Lombardia, si è voluto dare uno sguardo sia sullo stato di consapevolezza di un ampio campione di allevatori lombardi in merito al processo di digitalizzazione e introduzione della zootecnia di precisione nella nostra Regione, sia sulla diffusione delle principali strumentazioni di PLF nel nostro territorio.

8.2.1 Il questionario come metodo di indagine sulla diffusione delle innovazioni nella produzione primaria.

Come nella nostra precedente esperienza mirata al territorio cremonese *(Abeni et al., 2019)*, abbiamo predisposto un questionario diviso in due parti: la prima (Questionario A) generale per comprendere il grado di confidenza e interesse con la tematica PLF; la seconda (Questionario B) per la rilevazione delle caratteristiche aziendali e del livello di adozione delle principali tecnologie disponibili.

Questionario A

1. ha mai sentito parlare di "zootecnia di precisione" o "zootecnia digitale"?	☐ sì ☐no
2. nel suo allevamento pratica zootecnia di precisione?	☐ sì ☐ no
3. se sì, quali strumentazioni di zootecnia di precisione ha nel suo allevamento?	☐ Analisi alimenti ☐ Mungitura ☐ Robot alimentazione ☐ Robot mungitura ☐ Sensori ambientali ☐ Sensori su animali (attività, ruminazione, …)
4. è disponibile a rispondere a un breve questionario per aiutarci a capire le esigenze degli allevatori di bovini da latte nelle scelte che riguardano gli investimenti in nuove tecnologie per migliorare la gestione della stalla?	☐ sì ☐ no

Questionario B

Sezione 1. Informazioni su impresa e imprenditore	
1. da quanti anni alleva bovini da latte?	>100 anni
2. quanti anni ha?	☐ <25 ☐ 26-35 ☐ 36-45 ☐ 46-55 ☐ 55-65 ☐ > 65
3. che titolo di studio ha conseguito?	☐ scuola media (obbligo) ☐ scuola media superiore (liceo, istituti tecnici, …) ☐ laurea triennale ☐ laurea magistrale (3+2 anni) ☐ dottorato ricerca, specializzazione o master
4. quale tecnologia digitale usa nella sua attività?	☐ Smartphone ☐ Computer ☐ Tablet ☐ Altro (specificare) _____
5. come definirebbe il suo grado di familiarità con le tecnologie informatiche?	☐ nullo ☐ basso ☐ medio ☐ alto
6. quali altri tipi di allevamento o attività agricola sono presenti nella sua azienda?	☐ bovini carne ☐ suini ☐ avicoli ☐ cereali ☐ orticole ☐ piante da frutto ☐ Altro
7. quante persone lavorano in azienda?	Famigliari: tempo pieno n. __tempo parziale n. ___ Dipendenti: tempo pieno n. _ tempo parziale n.___
Sezione 2. Informazioni su caratteristiche produttività allevamento, variazioni nei recenti 5 anni, variazioni prevedibili nei prossimi 5 anni	
1. superficie aziendale, ha	___ ha proprietà ___ ha in affitto
1. capi in lattazione (asciutte escluse)	n.___
2. produzione media kg/capo/giorno	____kg/capo/giorno
3. variazione mandria capi in lattazione negli ultimi 5 anni	
4. intenzioni variazione mandria capi in lattazione nei prossimi 5 anni	

Figura 2. Struttura del questionario proposto agli allevatori lombardi (prima schermata).

Elenco possibili installazioni e strumentazioni presenti					
Sistemi di controllo ambientale/alimenti	**Marca/Ditta**	**Modello/i**	**Automazione distribuzione alimenti/pulizia**	**Marca/Ditta**	**Modello/i**
Centralina meteo in rete per previsioni tempo			Autoalimentatori: N°___		
Sistema registrazione microclima e qualità aria stalla			Distributore latte vitelli (lupa): N° ___		
			Pesa per vitelli associata ad allattatrice		
Controllo automatico del fotoperiodo			Robot preparazione e distribuzione miscelata. N° ___		
			Spingiforaggio robotizzato. N° ___		
Analizzatore NIR portatile per analisi foraggi			Analizzatore NIR installato sul carro miscelatore		
Sistema analisi termografica degli insilati			Analizzatore uniformità particelle unifeed.		
Sistema di rilevazione temperatura del fieno			Robot per pulizia corsie		
Sistema di Mungitura ROBOTIZZATO	**Marca/Ditta**	**Modello**	**Sistema di Mungitura CONVENZIONALE**	**Marca/Ditta**	**Modello**
n°___ robot 1° modello (Anno installaz.: _____)			Sala di Mungitura □ N° di poste _____		
n° ___ robot 2° modello (Anno installaz.: _____)			Rotativa/giostra □ N° di poste _____		
Rilievi effettuati dai sensori	**1°Modello**	**2° Modello**	**Rilievi effettuati dai sensori**	**Si/No**	
Produzione di latte (per mammella □ per quarto □)	□	□	Produzione di latte (per mammella □ per quarto □)	□	
Flusso di latte (per mammella □ per quarto □)	□	□	Flusso di latte (per mammella □ per quarto □)	□	
Conducibilità elettrica del latte (per mammella □ per quarto □)	□	□	Conducibilità elettrica del latte (per mammella □ per quarto □)	□	
Colore o sangue nel latte (per mammella □ per quarto □)	□	□	Colore o sangue nel latte (per mammella □ per quarto □)	□	
Analizzatore in line per contenuto in grasso, proteine e lattosio del latte mediante analisi spettroscopica NIR (per mammella)	□	□	Analizzatore in line per contenuto in grasso, proteine e lattosio del latte mediante analisi spettroscopica NIR (per mammella)	□	
Indicazione contenuto in cellule somatiche del latte mediante analisi spettroscopica NIR (valore per classi e per mammella)	□	□	Indicazione contenuto in cellule somatiche del latte mediante analisi spettroscopica NIR (valore per classi e per mammella)	□	
Indicazione del contenuto in cellule somatiche del latte mediante analisi CMT automatizzata (per mammella)	□	□			
Contenuto in cellule somatiche del latte mediante analizzatore ottico (per mammella)	□	□			
Indicazione del contenuto in cellule somatiche del latte mediante analisi EPT (CCS per quarto)	□	□			
Analizzatore on line del latte per: progesterone □, attività enzima lattato deidrogenasi (LDH) □ , betaidrossibutirrato □; urea □ (per mammella)	□	□	Analizzatore on line del latte per: progesterone □ , attività enzima lattato deidrogenasi (LDH) □ , betaidrossibutirrato □; urea □ (per mammella)	□	
Analisi termografica mammella	□	□	Analisi termografica mammella	□	
Sistema rilievo Peso vivo	□	□	Sistema rilievo Peso vivo	□	
Sensori su bovine per monitoraggio salute, fertilità e parti	**Marca/Ditta**		**Modello/i**		
Pedometri: per Vacche N° _____ Manze n° ____	_____		_____		
Rilievi: n° Passi □; Tempo camminando □; Tempo sdraiata □; Tempo in piedi □; N° di volte alzate/d □; Localizzazione GPS □; Posizione □; Avviso Parto □					
Collari: Vacche N° _____ ; Manze n° ____	_____		_____		
Rilievi: Attività Motoria □; Ruminazione □; Ingestione □; Riposo □; Localizzazione GPS □					
Sensori auricolari: per Vitelli n°___ ; per Vacche n°___; per Manze n° ____	_____		_____		
Rilievi: Attività Motoria □; Ruminazione □; Ingestione □; Riposo □; Localizzazione GPS □; Temperatura □					
Sensore parto: Vaginale □; su coda □	_____		_____		
Analizzatore della condizione corporea (BCS)	_____		_____		

Figura 3. Struttura del questionario proposto agli allevatori lombardi (seconda schermata).

8.2.2 Presentazione delle prime statistiche descrittive rilevate con il questionario nel progetto Latte Digitale.

A quanto pare dai risultati di Figura 4, il concetto di zootecnia di precisione è ampiamente noto a tutte le fasce di dimensione aziendale. Certamente, in questi anni nel territorio lombardo, grazie ai PSR finanziati da Regione Lombardia (tra i quali annoveriamo DIM4ZOO, NEW4REP e CTRL-C-MAST realizzati dal CREA), si è parlato di digitalizzazione e nuove tecnologie applicate all'allevamento, soprattutto nel caso di quello bovino da latte.

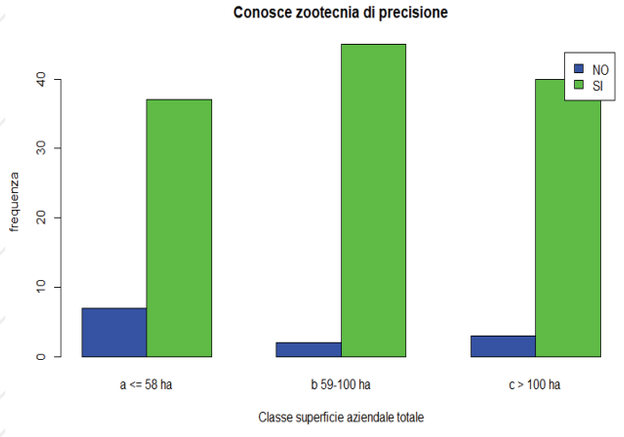


Figura 4. Distribuzione di frequenza della conoscenza della zootecnia di precisione in funzione della dimensione aziendale.

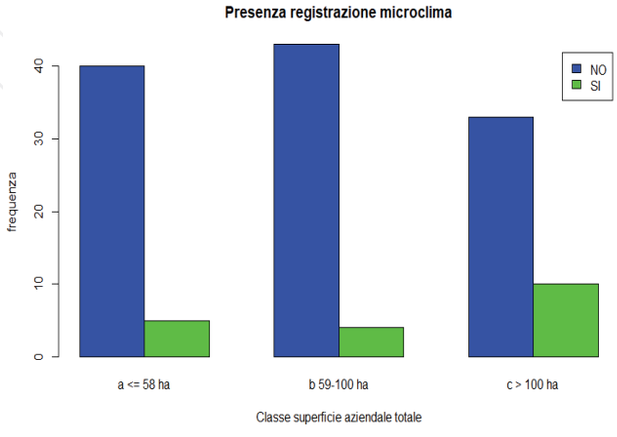


Figura 5. Distribuzione di frequenza della presenza di un sistema di registrazione del microclima in funzione della dimensione aziendale.

Passando ad esaminare le risposte fornite in merito alla presenza di attrezzature ascrivibili alla PLF, viene qualche dubbio in merito alla consapevolezza dell'importanza che può avere il controllo di temperatura e umidità dell'aria (aldilà di quello che può essere l'automatismo di attivazione dei sistemi di raffrescamento), nell'ambiente di stabulazione; dall'osservazione della Figura 5, infatti, emerge come fino ad oggi non sia stata data importanza al monitoraggio del microclima della stalla se non in una minoranza di aziende di grandi dimensioni.

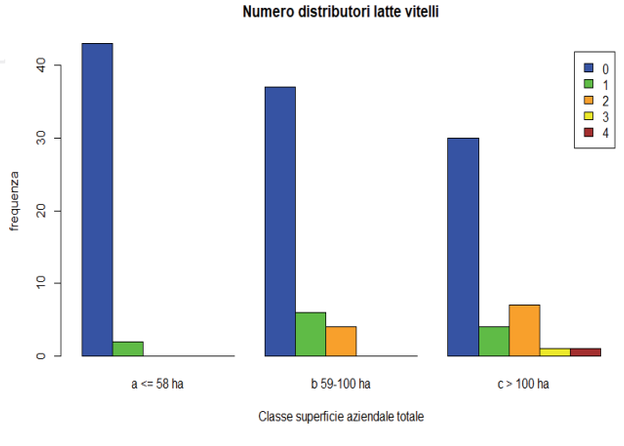


Figura 6. Distribuzione di frequenza della presenza di uno o più distributori automatizzati di latte alle vitelle in funzione della dimensione aziendale.

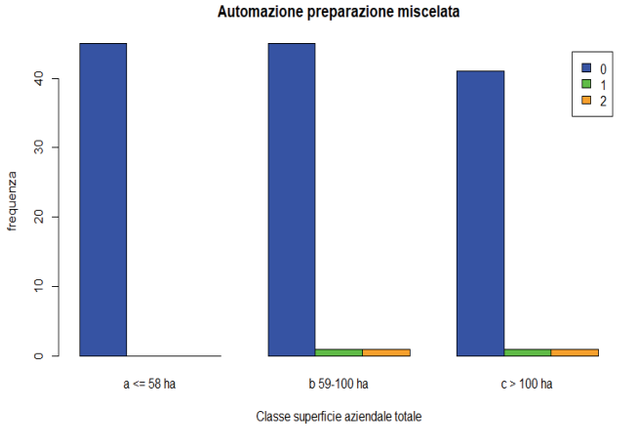


Figura 7. Distribuzione di frequenza della presenza di un sistema automatizzato di preparazione della miscelata in funzione della dimensione aziendale.

Un settore spesso sottovalutato (ma presente all'attenzione dei partner di Latte Digitale) è quello del monitoraggio delle condizioni di alimentazione e benessere della fase giovanile. Se nelle aziende di piccola dimensione vi è una scarsa presenza di allevamenti con almeno una stazione di distribuzione automatizzata del latte alle vitelle, passando alle aziende di maggiori dimensioni è possibile trovare diverse situazioni con anche tre e più stazioni di distribuzione (Figura 6).

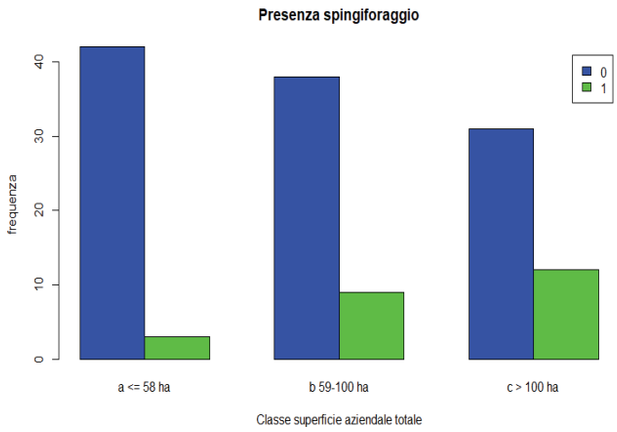


Figura 8. Distribuzione di frequenza della presenza di un sistema spingi-foraggio automatizzato in funzione della dimensione aziendale.

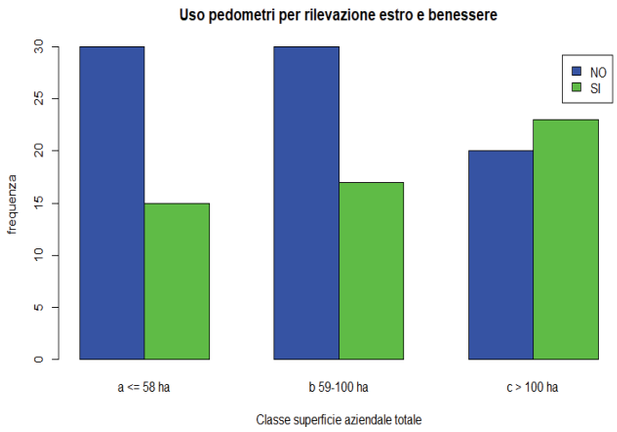


Figura 9. Distribuzione di frequenza della presenza di un sistema di rilevazione degli estri e del benessere animale mediante pedometri in funzione della dimensione aziendale.

In merito ai sistemi di preparazione e distribuzione automatizzata della miscelata per le bovine adulte, se da un lato sembra esserci un certo interesse da parte degli allevatori nel comprendere le opportunità offerte dalle differenti soluzioni tecnologiche messe a disposizione dalle case produttrici, dall'altro lato emerge, anche dai nostri dati, come sia difficile giustificare un investimento (certamente uno dei più impegnativi tra quelli legati alla zootecnia di precisione) nelle aziende di minori dimensioni (Figura 7). Maggiormente diffusa appare l'adozione dei cosiddetti sistemi spingi-foraggio (Figura 8) che, pur non avendo le potenzialità operative dei sistemi di automazione totale della preparazione della miscelata, consentono comunque una azione a supporto di una più regolare ingestione di alimento, con forte riduzione del rischio di selezione da parte delle bovine e, di conseguenza, una maggiore corrispondenza tra quanto distribuito e quanto ingerito da ciascun gruppo di alimentazione. Anche per questa strumentazione, l'effetto della dimensione della mandria sulla propensione all'adozione risulta marcato.

I sistemi di rilevazione automatizzata degli estri, sia mediante pedometri (Figura 9) che mediante attivometri a collare (Figura 10) sono stati certamente uno dei motori che hanno spinto gli allevatori lombardi (e non) verso l'adozione delle tecnologie digitali; per ora, sono rappresentati in misura minore quelli che prevedono l'adozione di un sensore auricolare (Figura 11). Due elementi sono da considerare alla base di questo risultato. Il primo è quello relativo alla importanza della rilevazione degli estri in mandrie di crescenti dimensioni, in condizioni di carenza di manodopera specializzata, alla luce del peso della rilevazione dell'estro nella filiera aziendale del latte, dove un basso tasso di rilevazione significa perdita di efficienza nel ciclo riproduttivo delle bovine e, in ultima analisi, perdita di efficienza economica da parte dell'intera azienda. Il secondo elemento è quello della relativa dimensione dell'investimento in queste tecnologie, decisamente inferiore a quella associata a una automatizzazione del sistema di preparazione degli alimenti o al rinnovo della sensoristica alla mungitura. Inoltre, nel tempo, si è imparato a dare valore alle informazioni sulla registrazione dell'attività fisica della bovina aldilà della pur importante rilevazione degli estri per comprendere l'associazione tra il dato rilevato e le condizioni di benessere della bovina anche quando già gravida. In entrambe le figure, si vede come siano le aziende più piccole ad avere ancora qualche ritardo, mentre le altre classi (medie e grandi) stanno abbracciando in modo consistente l'adozione di questi sistemi.

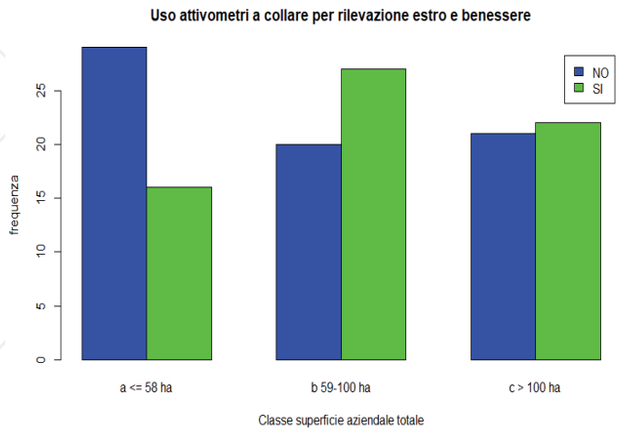


Figura 10. Distribuzione di frequenza della presenza di un sistema di rilevazione degli estri e del benessere animale mediante un attivometro a collare in funzione della dimensione aziendale.

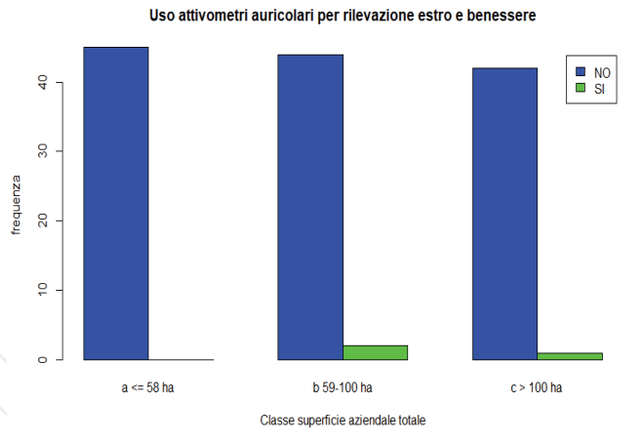


Figura 11. Distribuzione di frequenza della presenza di un sistema di rilevazione degli estri e del benessere animale mediante un attivometro auricolare in funzione della dimensione aziendale.

8.3 Conclusioni

Volendo trarre una conclusione dai dati acquisiti, possiamo affermare che, in Lombardia, il processo di digitalizzazione e adozione di tecniche PLF è certamente ben avviato (ricordandoci sempre che una quota di "ritardatari" è sempre presente in ogni trasformazione dei sistemi produttivi). A guidare questo processo sono le aziende di maggiori dimensioni, sia per un più facile raggiungimento di economie di scala, sia perché, soprattutto per alcuni aspetti quali la gestione riproduttiva di mandrie numerose, risulta ormai difficile affidarsi alla semplice osservazione e registrazione manuale degli eventi da parte degli operatori. Il prossimo importante passaggio dovrà essere quello di mettere in relazione i dati provenienti dai diversi dispositivi presenti in azienda per aumentare il potenziale informativo di quanto l'allevatore ha già acquisito, ma attualmente è costretto (per limiti tecnologici di comunicazione tra i vari sistemi) a gestire separatamente (strumentazione separata da altra strumentazione).

9. Digitalizzazione e zootecnia di precisione: quali benefici per la riduzione dell'impatto ambientale della produzione di latte bovino

Sara Carè e Giacomo Pirlo - CREA-ZA, Centro di ricerca Zootecnia e Acquacoltura, sede di Lodi

9.1 Introduzione

Le sfide che attendono la zootecnia sono riassunte in un rapporto della FAO dal titolo volutamente esplicativo "Come possiamo sfamare il mondo nel 2050? *(How to feed the world in 2050)*" *(FAOSTAT, 2009)*. Secondo questo rapporto nel 2050 la popolazione mondiale ammonterà a 9 miliardi, di cui oltre il 70% si collocherà nella fascia urbanizzata e il maggior contributo alla crescita demografica mondiale sarà dato dai paesi in via di sviluppo. Questo aumento di popolazione comporterà un incremento del consumo di carne del 73% e dei consumi di prodotti lattiero caseari del 58%. Per soddisfare tale richiesta di proteine animali si dovrebbe incrementare del 100% l'allevamento di pollame, dell'80% quello dei piccoli ruminanti, del 50% quello dei bovini e del 40% quello dei suini, senza modificare l'attuale livello di sfruttamento delle risorse naturali. Dobbiamo tener conto, inoltre, del fatto che è in corso una costante riduzione della superficie coltivabile disponibile pro capite, a causa dell'incremento demografico e della diversa destinazione d'uso di queste superfici (naturalistica, urbana ed energetica) *(Reilly and Willenbockel, 2010; Pulina et al., 2011)*.
Per far fronte alle accresciute esigenze, gli allevamenti hanno dovuto aumentare sia il numero di capi allevati che la produttività. A tal fine è aumentato l'uso di alimenti concentrati nella dieta, sono disponibili farmaci e vaccini per migliorare lo stato di salute e di benessere degli animali, sono state rinnovate le strutture dell'allevamento, per limitare soprattutto durante il periodo estivo l'effetto negativo delle alte temperature e, più in generale, è stata migliorata l'efficienza alimentare *(Ramankutty et al., 2018)*.
Tuttavia, l'intensivizzazione dei sistemi zootecnici comporta alcuni potenziali rischi, particolarmente nei settori suinicolo e avicolo: l'allevamento di un elevato numero di animali in aree geografiche poco estese, l'utilizzo di una elevata quantità di risorse per la produzione di una elevata quantità di refluo zootecnico *(Mallin et al., 2015)*.
La zootecnia è un importante utilizzatore di risorse naturali e può avere anche un'influenza sulla qualità dell'aria, del suolo, dell'acqua e sul clima alterando il ciclo biogeochimico dell'azoto, del fosforo e del carbonio, dando origine alle ben note preoccupazioni per l'ambiente *(Leip et al., 2015)*.
Numerosi studi hanno riportato che la produzione di latte ha molteplici effetti sull'ambiente; i bovini, infatti sono tra le principali fonti di metano (CH_4) derivante dalla fermentazione enterica e dalla fermentazione della sostanza organica dei reflui, di protossido di azoto (N_2O) che deriva dalle reazioni a carico dei composti azotati escreti dall'animale che si verificano sia in stalla che in campo e dalle reazioni dei fertilizzanti azotati di sintesi che sono distribuiti sul terreno. La produzione degli alimenti per gli animali causa l'emissione di anidride carbonica (CO_2) che deriva dalla combustione dei carburanti fossili utilizzati nelle lavorazioni del terreno, dalla produzione degli alimenti acquistati, dei fertilizzanti e dei pesticidi e dal cambiamento dell'uso del suolo. Si può verificare infatti che la produzione di certi alimenti, in particolare la soia, avvenga a scapito di foreste e questo comporta una perdita di sostanza organica dei suoli delle aree in cui ciò avviene.

L'aumento della produttività ha comportato un aumento di certe malattie, quali le mastiti e le laminiti, imponendo un ampio uso di vaccini e, soprattutto, antibiotici. Questi ultimi rappresentano un importante problema, dovuto all'aumento dell'antibiotico resistenza.
La zootecnia da latte deve orientarsi verso un sistema produttivo più sostenibile, caratterizzato da un uso limitato di alcuni farmaci, adottando una serie di tecnologie che consentono di raggiungere questo scopo.
Secondo quanto riportato nel lavoro di *Berckmans (2014)*, la zootecnia di precisione potrebbe essere un buon approccio per migliorare la produttività negli allevamenti e renderli più sostenibili perché consentirebbe di controllare in tempo reale lo stato di salute e di benessere degli animali, la produttività e le performance riproduttive della mandria che, come è noto, sono i principali *driver* della sostenibilità ambientale negli allevamenti. Con la zootecnia di precisione si possono inoltre monitorare l'assunzione di alimento, la crescita dell'animale, l'incidenza di determinate patologie nell'allevamento e le condizioni microclimatiche della stalla per garantire agli animali un ambiente di allevamento più confortevole e per ridurre l'effetto negativo delle elevate temperature sulla produzione.
Garantire agli animali condizioni di benessere ottimali è la base per migliorare le prestazioni ambientali degli allevamenti *(Pirlo e Speroni, 2020)*; infatti, animali in buone condizioni di benessere si ammalano di meno, si sviluppano meglio e producono di più. Inoltre, ammalandosi meno la mortalità è più bassa e gli animali si riproducono più facilmente. In ultima analisi, sono più efficienti e il miglioramento dell'efficienza è uno degli obiettivi principali da perseguire per ridurre l'intensità di emissione *(Herzog et al., 2018)*.
Considerato che le prestazioni produttive *(Pirlo e Lolli, 2019)* e riproduttive *(Zehetmeier et al., 2014)* e il benessere degli animali sono tra i principali driver dell'impatto ambientale e che alcuni dispositivi di zootecnia di precisione consentono di rilevare in tempo reale dati relativi alle performance produttive, riproduttive e allo stato di salute di ogni singolo animale trasformandoli in informazioni utili per l'allevatore, il quale deve prendere le decisioni più vantaggiose per migliorare l'efficienza aziendale, il progetto Latte Digitale ha avuto l'obiettivo di valutare come l'introduzione della tecnologia digitale possa contribuire a migliorare l'efficienza e la sostenibilità ambientale.

9.1.1 *Life cicle assesment* o LCA

La valutazione dell'impatto ambientale negli allevamenti è stata eseguita in tre momenti: prima dell'introduzione delle innovazioni proposte (anno 2018), durante il secondo anno per fare una prima stima della riduzione dell'impatto ambientale (anno 2019) e durante il terzo anno per stimare l'effetto delle innovazioni a situazione stabilizzata (anno 2020). L'analisi ambientale è stata effettuata adottando l'approccio del ciclo di vita (*Life cycle assessment* – LCA) che considera gli aspetti ambientali e i potenziali impatti lungo tutto il ciclo di vita del prodotto, dall'acquisizione delle materie prime attraverso la fabbricazione e l'utilizzo, fino al trattamento di fine vita, eventuale riciclaggio e smaltimento finale, con un approccio *"from cradle to grave"*, cioè dalla culla alla tomba (norme UNI EN ISO 14040 e 14044, 2006a e b). Secondo questo approccio, l'analisi è stata fatta tenendo conto di quattro fasi: definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione; analisi dell'inventario; valutazione degli impatti e interpretazione del risultato.
La definizione dell'obiettivo della valutazione è molto importante perché in base a questo si dovrà scegliere un livello di dettaglio e di ampiezza del sistema e i confini del sistema (system boundaries) ovvero l'insieme dei processi unitari che fanno parte di un sistema di prodotto; in questa fase inoltre viene definita l'unità funzionale, che rappresenta l'unità di prodotto al quale si riferiscono i consumi e le emissioni. La fase d'analisi dell'inventario del ciclo di vita (fase LCI - *Life Cycle Inventory*) è quella in cui vengono acquisiti i dati in ingresso e in uscita, relativi al sistema da studiare. La fase LCI implica la raccolta dei dati necessari per raggiungere gli obiettivi dello studio definito. Anche in questo caso, in base all'obiettivo dello studio e quindi al livello di dettaglio necessario, questa fase potrà essere effettuata utilizzando diverse fonti: banche dati e/o dati primari ossia reperiti direttamente dai produttori o misurati. La fase di valutazione dell'impatto del ciclo di vita (fase LCIA - *Life Cycle Impact Assessment*) ha come scopo quello di comprendere e valutare l'ampiezza e l'importanza dei potenziali impatti ambientali di un sistema di prodotto nel corso del suo ciclo di vita. Nella quarta ed ultima fase i risultati sono analizzati e discussi con le parti interessate, per individuare soprattutto i momenti del sistema produttivo in cui è possibile intervenire per migliorare le prestazioni ambientali del sistema.

9.1.2 Il modello di calcolo

Il modello di calcolo che è stato utilizzato è il *"Calcul Automatisé des Performances Environnementales en Elevage de Ruminants"* (CAP'2ER®) sviluppato in Francia presso l'*Institut de l'Elevage (Gac et al. 2010; IDELE 2018*). La scelta di utilizzare questo modello rispetto ad altri presenti in Europa o negli USA è stata determinata da due ragioni fondamentali: la prima è che questo metodo, pur facendo riferimento al sistema produttivo francese, si è dimostrato adatto al monitoraggio degli allevamenti italiani sia da carne *(Boselli, 2015)* che da latte; la seconda è che nel nostro Paese non è presente un modello di calcolo condiviso a livello nazionale delle emissioni di gas ad effetto serra degli allevamenti. Il sistema di calcolo CAP'2ER® è conforme alle norme ISO 14040 e 14044 del 2006 ed è stato accreditato in Francia dall'Ecocert Environment, organismo di controllo e certificazione che si occupa della certificazione dell'impatto ambientale di prodotti biologici.
Questa metodologia di calcolo, già utilizzata per la valutazione dell'impatto ambientale e del contributo al mantenimento della biodiversità negli allevamenti di bovini da latte, bovini da carne e allevamenti di pecore in diversi progetti di ricerca europei, prevede due livelli di analisi: il Niveau 1 e il Niveau 2 che si distinguono per la complessità dei dati richiesti e l'analisi che viene eseguita. Il Niveau 1 è uno strumento di calcolo semplificato, scaricabile gratuitamente da internet, che si propone di sensibilizzare gli allevatori al rispetto dell'impatto ambientale dando un risultato rapido. Il Niveau 2 si basa invece su una metodologia di calcolo più complessa, che permette anche di impostare dei piani di mitigazione al fine di ridurre l'impatto ambientale aumentando il contributo positivo che può dare l'allevamento ed è il livello di analisi che è stato adottato nel progetto Latte Digitale.

Lo strumento di calcolo richiede la raccolta di una serie di dati tecnici dell'azienda utilizzando un questionario, che è stato messo a punto presso il Centro di ricerca Zootecnia e Acquacoltura del CREA di Lodi e che riguardano: la descrizione generale dell'allevamento, la razza, la composizione della mandria ad inizio e alla fine dell'anno, numero e peso degli animali venduti (vacche a fine carriera, manze da vita, vitelli maschi), le prestazioni produttive (kg latte prodotto per anno) e riproduttive della mandria (età al primo parto e tasso di rimonta), le caratteristiche qualitative del latte (il tenore in grasso e proteine), la modalità di gestione delle deiezioni e tipologia di stabulazione degli animali, la superficie aziendale e piano colturale, la concimazione minerale ed organica, le lavorazioni del terreno eseguite dal contoterzista, la composizione della dieta distribuita ad ogni gruppo di animali, i consumi energetici dell'azienda (gasolio ed energia elettrica) e la presenza di impianti per la produzione di energia rinnovabile (impianto di digestione anaerobica o pannelli fotovoltaici). Per rispondere ai criteri dell'analisi LCA, la metodologia di calcolo considera come confini del sistema il classico *"cradle-to farm-gate"* ovvero dalla "culla al cancello dell'azienda" e adotta come unità funzionale un kg di latte *(Fat Protein Corrected Milk-FPCM)* calcolato secondo la formula riportata da *Gerber et al. (2011)* (Figura 1).
All'interno del sistema vengono calcolate le seguenti categorie d'impatto: il riscaldamento globale (kg CO_2eq/kg latte FPCM), l'acidificazione (kg SO_2 eq/kg latte FPCM), l'eutrofizzazione (kg PO_3^{-4}eq/ kg latte FPCM), consumo di energia fossile (espresso in termini di Mega Joule, MJ), il contributo al mantenimento della biodiversità e il sequestro del carbonio.

Nel modello di calcolo CAP'2ER® il fattore di emissione relativo al calcolo del metano (CH_4) enterico, che è la fonte più importante di questo gas per i ruminanti, è calcolato applicando il Tier 3 dell'IPCC ed utilizza l'equazione riportata da *Sauvant e Nozière (2013)*, che tiene conto della sostanza organica digerita da ciascun animale presente in allevamento calcolata partendo dalla sostanza secca ingerita e dalla quantità di concentrato presente nella razione. La stima del CH_4 derivante dalla gestione e dallo stoccaggio delle deiezioni e dal pascolo è calcolata applicando il Tier 2 dell'*IPCC (2006)*. In questo caso, la formula utilizzata per il calcolo di queste emissioni tiene conto della sostanza organica non digerita, del potenziale metanigeno di ciascun alimento ingerito dall'animale, della modalità di stabulazione degli animali e della temperatura media annuale rilevata nell'area geografica in cui è situata l'azienda.

Figura 1: Confini del sistema di un'azienda da latte.

Le emissioni di protossido di azoto (N_2O), derivanti dalla gestione e dallo stoccaggio delle deiezioni, sono calcolate partendo dall'azoto escreto di ogni categoria zootecnica presente in allevamento, che è condizionato sia dalla qualità dei foraggi e dei concentrati che sono ingeriti dalle diverse categorie di animali sia dalla modalità di stabulazione e, di conseguenza, dalla tipologia di refluo che viene prodotta applicando il Tier 2 dell'*IPCC (2006)* e quello riportato nell'*EMEP CORINAIR (2013)*.

L'N_2O derivante sia dallo spandimento delle deiezioni sia dall'utilizzo di fertilizzanti azotati di sintesi è calcolato applicando il Tier 1 dell'*IPCC (2006)* e tiene conto delle tecniche di spandimento, della temperatura e della quantità di azoto minerale distribuita sulla superficie dell'azienda. Le emissioni di anidride carbonica (CO_2) derivanti dalla combustione dei carburanti fossili utilizzati nelle lavorazioni colturali dalla produzione degli input che entrano in azienda necessari alla produzione del kg di latte (animali acquistati, alimenti e paglia, fertilizzanti, minerali, pesticidi, sementi) sono state calcolate applicando il Tier 2 dell'*IPCC (2006)* utilizzando come fattori di emissione quelli riportati nei database Terre version 3.45 (2014), Agrybalyse version 1.1 (2014) e BDD RMT Elevage et Environnnement del 2012 (SimaPro). Le emissioni di gas ad effetto serra di ogni azienda sono calcolate tenendo conto del CH_4, N_2O e CO_2 prodotti in azienda. Il contributo di questi gas al riscaldamento globale è stato espresso in base al loro Global Warming Potential che è riferito ad 1 kg di CO_2 eq ed è pari a 25 kg di CO_2 eq per il CH_4 e a 298 kg di CO_2 equivalente per il N_2O *(IPCC, 2006)*. Il sequestro di carbonio è calcolato utilizzando i seguenti fattori tipici della realtà produttiva francese: 570 kg di C/ha anno per i prati permanenti *(Sosussana et al., 2009)*, 250 kg di C/ha per anno per le superfici pastorali (pascoli di montagna) *(GES'TIM, 2010)*, 160 kg di C/ha per anno per le altre colture *(Dollè et al., 2013)*, 125 kg C/100 ml/an per le siepi *(Arrouays, et al., 2002)* e - 950 kg C/ha/anno per le rotazioni senza prati *(Dollè et al., 2013)*; nel calcolo è considerata anche la presenza di siepi e altri elementi agro-ecologici. Il contributo alla emissione di gas serra, definito come impronta di carbonio, della produzione di latte è stato calcolato in ogni azienda aderente al progetto come differenza tra le emissioni di gas ad effetto serra e il sequestro di carbonio. L'acidificazione dell'aria è calcolata applicando la metodologia CML del 2001 che considera tre gas principali: l'ammoniaca (NH_3), il monossido di azoto

(NO), l'anidride solforosa (SO_2) che derivano dalla modalità di gestione delle deiezioni e si producono durante lo spandimento del refluo, l'utilizzo del fertilizzante azotato minerale e a seguito del consumo di energia diretta e indiretta. L'eutrofizzazione dell'acqua tiene conto delle perdite di azoto (azoto lisciviato) come nitrati (NO_3^-), le perdite di fosforo (fosforo ruscellato), la ri-deposizione dell'azoto ammoniacale e il monossido di azoto (NO) ed è calcolata applicando la metodologia CML del 2001. Il contributo al mantenimento della biodiversità è calcolato attribuendo ad ogni superficie agro-ecologica considerata nel modello di calcolo un coefficiente d'equivalenza definito all'interno del BCAE VII (Bonne Conditions Agricoles et Environmentales) francese *(MAAF, 2012)*.

La valutazione dell'impatto ambientale è stata fatta in tre allevamenti da latte altamente specializzati che rappresentano la realtà produttiva tipica della Pianura Padana, caratterizzata da un elevato numero di capi allevati e alta produzione di latte. Gli allevamenti sono situati nelle province di Mantova (azienda Verdera di Donà Iaverio e C.S.S), Brescia (azienda Della Bona Faustino S.S. Società Agricola) e Cremona (azienda Barbiselle S.R.L. Società Agricola). In tutte le aziende gli animali erano allevati a stabulazione libera con area di riposo a cuccette per le vacche, in box collettivi per le manze in post svezzamento, mentre le vitelle erano situate in un'area con box singoli su lettiera permanente. Tutte le vacche, sia in asciutta sia in lattazione, erano alimentate con tecnica unifeed e la dieta era composta da mais (insilato o pastone), fieno di erba medica, cereali, mangime e integratori minerali-vitaminici acquistati all'esterno. Nell'azienda Verdera, che produceva un latte destinato alla produzione di Parmigiano Reggiano DOP, gli animali ricevevano erba medica e cereali. All'inizio del progetto, la superficie aziendale delle tre aziende era compresa tra 74 e 244 ha, il numero dei capi in lattazione era compreso tra 185 e 1275, la produzione di latte media aziendale era compresa tra 2177 e 14.139 t/latte/anno mentre quella media giornaliera per capo era di 31 kg/latte con un tenore in grasso compreso tra 36,15 e 39,80 g/kg e in proteine compreso tra 33,26 e 36,00 g/kg. (Tabella 1).

Parametro	**Unità di misura**	Azienda Verdera	Azienda Della Bona	Azienda Barbiselle
Consistenza della mandria	(n)	342	2013	1249
Vacche in lattazione	(n)	185	1275	591
Produzione di latte	(t/anno)	2.177	14.139	6.400
Produzione di latte individuale	(kg/capo/d)	32	31	31
Tenore in grasso	(g/kg)	36,15	38,30	39,80
Tenore in proteine	(g/kg)	33,26	33,40	36,00
Età al primo parto	mesi	26	25	24
Tasso di rimonta	(%)	22	29	26
Superficie aziendale	(ha)	74	244	219
Erba medica	(ha)	62	12	68
Mais	(ha)	/	99	142
Cereali	(ha)	12	94	9
Fertilizzante azotato chimico	(kgN/ha)	/	/	161

Tabella 1: Caratteristiche produttive, riproduttive e sistema foraggero delle tre aziende oggetto dello studio all'inizio del progetto (anno 2018).

9.2 La valutazione dell'impatto ambientale nelle tre aziende partecipanti al progetto Latte Digitale

9.2.1 Azienda Verdera di Donà Iaverio e C.S.S

Come si evince dalla Tabella 2, tra il 2018 e il 2020 nell'azienda Verdera si è avuto un aumento consistenza della mandria dovuto ad un maggior numero di animali giovani che ha comportato un leggero miglioramento della produzione di latte del 5% pur mantenendo costante la produzione di latte per capo; l'azienda ha aumentato la superficie da destinare alle colture per soddisfare la maggiore produzione di alimenti per gli animali. Tuttavia, tra il 2019 e il 2020 ci sono state piogge molto abbondanti, che hanno compromesso in parte le colture, costringendo l'imprenditore ad aumentare l'acquisto di concentrati provenienti dall'esterno. Riguardo i consumi energetici dell'allevamento, tra il 2018 e il 2020 si è avuto un aumento del 63% del consumo di gasolio, perché è stata ripresa la pratica di arare i terreni al termine della raccolta (pratica agricola che nel 2017/2018 non si faceva) per eliminare le erbe infestanti e ridurre l'utilizzo del diserbante chimico. Il consumo di energia elettrica ha registrato un aumento considerevole tra il 2018 e il 2019 a causa di due fatti concomitanti: un mal funzionamento dell'impianto di essiccazione del foraggio presente in azienda e l'introduzione di un sistema automatizzato di alimentazione (Figura 2a) che prevede più preparazioni e distribuzioni della razione nel corso della giornata; ed una successiva riduzione tra il 2019 e il 2020 dovuta all'utilizzo di sistemi di monitoraggio che consentono di gestire al meglio il consumo di elettricità spostando o abbassando i carichi elettrici durante le ore di punta quali per esempio le ore più calde della giornata. In azienda è inoltre presente un sistema di monitoraggio della qualità del latte prodotto da ogni animale (Figura 2b) e un sistema di ventilazione artificiale il cui funzionamento viene regolato sulla base del raggiungimento di determinati valori dei parametri microclimatici.

Parametro	Unità di misura	Azienda Verdera			
		2018	2019	2020	
Vacche in lattazione	(n)	185	194	195	5%
Produzione di latte	(t/anno)	2.177	2.199	2.294	5%
Superficie aziendale	(ha)	74	84	94	27%
Tot alimenti acquistati	(t/anno)	955	1018	1020	7%
Consumo di gasolio	(l/anno)	19.047	30.150	31.000	63%
Consumo di elettricità	(kWh/anno)	153.051	157.824	151.346	-1%

Tabella 2: Variazione delle caratteristiche produttive e degli input aziendali dell'azienda Verdera nel corso del progetto.

Il carbon footprint dell'azienda ha mostrato un valore di 0,78 kg CO_2eq/kg FPCM all'inizio del progetto e ha subito un incremento del 7% tra il 2018 e il 2020, dovuto all'aumento degli alimenti acquistati per far fronte al maggior numero di animali allevati, all' aumento dei consumi energetici dipesi dall'utilizzo in azienda tra il 2018 e il 2019 di dispositivi con elevati consumi elettrici e dalla introduzione dell'aratura.
I dispositivi adottati dall'azienda hanno consentito di migliorare il controllo delle caratteristiche qualitative del latte e della produttività della mandria, di garantire agli animali delle condizioni di allevamento più favorevoli durante la stagione estiva, di ridurre gli sprechi di alimento al momento della preparazione della razione da distribuire agli animali e di misurare più correttamente i consumi energetici. Ciò ha permesso,

da un lato, di avere un maggiore controllo della produzione di latte e di intervenire tempestivamente qualora ci fossero dei problemi sanitari agli animali e, dall'altro, di gestire in modo più efficiente il consumo di input aziendali riducendo gli sprechi di alimento e di sfruttare al meglio le tariffe disponibili in funzione della distribuzione oraria dei consumi. Questi dispositivi non hanno però mostrato un effetto significativo sull'incremento di produzione di latte della mandria; pertanto, i vantaggi che sono derivati dal loro utilizzo non sono riusciti a compensare l'aumento complessivo di emissioni che è stato riscontrato nell'azienda durante la durata complessiva del progetto. Vi è da dire che il miglioramento delle prestazioni produttive e riproduttive, che è lecito attendersi dall'introduzione di dispositivi di zootecnia di precisione, sono a medio o lungo termine e che un periodo di due anni è molto probabilmente troppo breve perché questi vantaggi risultino significativi.

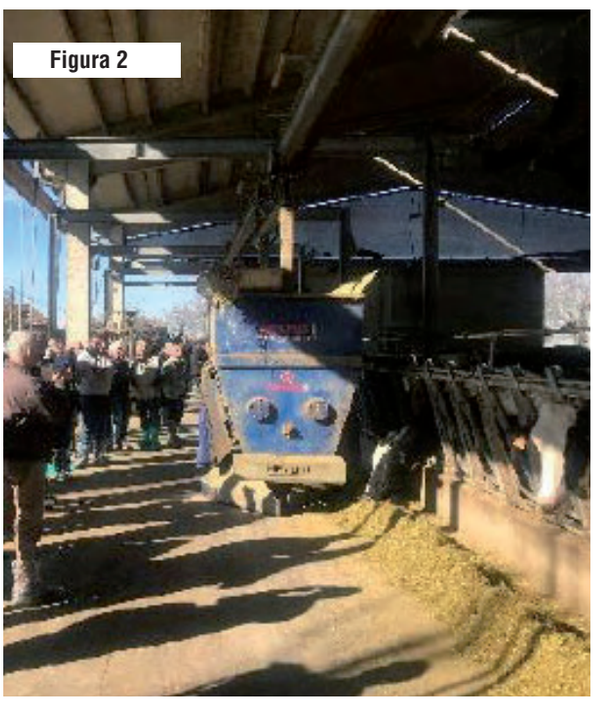


Figura 2: Dispositivi di zootecnia di precisione presenti nell'azienda Verdera nel corso del progetto: cucina robotizzata per la preparazione della razione da distribuire agli animali (Figura 2a), impianto di mungitura dotato di lattometro e analizzatore del latte (Figura 2b).

9.2.2 Azienda Della Bona Faustino S.S. Società Agricola

L' azienda agricola Della Bona nel corso degli anni ha subito un notevole sviluppo che ha comportato un aumento del numero di vacche in produzione di circa il 4% (Tabella 3) con conseguente incremento della produzione di latte della mandria dell'8%. Lo sviluppo aziendale che si è registrato tra il 2018 e il 2020 ha determinato un aumento degli input. Per soddisfare le esigenze alimentari di un maggior numero di capi è stata allargata la superficie aziendale, sono stati acquistati più concentrati (+1%), anche a seguito di condizioni metereologiche non favorevoli nel 2019, ed è stata consumata una maggior quantità di gasolio per le lavorazioni del terreno. Inoltre, l'utilizzo in azienda di un impianto in grado di effettuare le analisi del latte ad ogni mungitura, mediante la spettroscopia al vicino infrarosso (NIRS), istallato in sala di mungitura in corrispondenza di ogni posta, ha determinato un incremento dei consumi di energia elettrica dell'azienda.

Parametro	Unità di misura	Azienda Della Bona			Variazione %
		2018	2019	2020	
Vacche in lattazione	(n)	1275	1275	1325	4%
Produzione di latte	(t/anno)	14.139	14.411	15.243	8%
Superficie aziendale	(ha)	244	273	290	23%
Tot alimenti acquistati	t/anno	5247	5747	5314	1%
Consumo di gasolio	l/anno	127.809	183.000	232.500	82%
Consumo di elettricità	kWh/anno	841.769	809.872	889.081	6%

Tabella 3: Variazione delle caratteristiche produttive e degli input aziendali dell'azienda Della Bona el corso del progetto.

Da un punto di vista ambientale, l'azienda Della Bona ad inizio del progetto ha mostrato un valore di carbon footprint pari a 0,74 kg CO_2eq/kg FPCM che ha subito un incremento del 9% tra il 2018 e il 2020, nonostante l'aumento della produzione. Tale incremento può essere stato causato dalle maggiori emissioni di protossido di azoto (N_2O) derivanti dall'utilizzo nel 2020 di fertilizzanti azotati che negli anni precedenti non erano previsti. Inoltre, sono aumentate le emissioni di CO_2 complessive, a causa della combustione di combustibili fossili utilizzati per le accresciute lavorazioni agrarie e per la produzione degli alimenti acquistati e dei fertilizzanti.
Bisogna tenere conto anche del fatto che, nei tre anni del progetto, uno dei siti produttivi che compongono l'azienda è stato trasformato radicalmente. Tali trasformazioni possono aver influito sulla gestione degli animali e questo può aver influito negativamente per il periodo di transizione sulle prestazioni produttive degli animali. Bisogna inoltre considerare che, a causa di queste trasformazioni, i dispositivi di zootecnia di precisione che sono stati introdotti nell'azienda (pedometri di nuova generazione per il controllo dell'attività motoria degli animali che si interfacciano con lo stesso software gestionale della sala di mungitura) sono stati messi a pieno regime nel periodo 2021-2022 che non può essere considerato in termini di valutazione di impatto ambientale a causa della fine del progetto. Di conseguenza non è stato possibile valutare il loro effetto sulla produttività e sulle performance riproduttive degli animali che, come è noto, sono tra i principali *drivers* dell'impatto ambientale dell'azienda zootecnica.
I dati aziendali raccolti e analizzati sono stati trattati globalmente per i tre plessi aziendali in quanto la gestione dei fattori produttivi è congiunta.

9.2.3 Azienda Barbiselle S.R.L. Società Agricola

Nell'azienda Barbiselle c'è stato un aumento del 7% del numero di vacche in lattazione tra il 2019 e il 2020 dovuto alla presenza in azienda di un numero molto elevato di animali giovani da rimonta che hanno sostituito quelli non più produttivi dell'anno precedente (Tabella 4). L'aumento del numero dei capi allevati è stato accompagnato da un aumento della produttività, che da 30 kg di latte al giorno nel 2018 è passato a 33 kg nel 2020. Assieme questi due fatti hanno determinato un aumento complessivo della produzione del 14%. A seguito del progetto Latte digitale, è stata introdotta l'allattatrice automatica (Figura 3) che migliora l'alimentazione della manza. Con questo dispositivo si possono calibrare meglio gli apporti alimentari per ogni singolo animale e verificare in tempo reale l'insorgenza di eventuali patologie.
L'aumento della consistenza della mandria ha comportato la necessità di ampliare gli ettari di mais da destinare all'alimentazione degli animali. La forte grandinata che ha interessato la provincia di Cremona nel 2019 ha determinato la perdita di gran parte della produzione di insilato di mais, rendendo necessario l'acquisto di una maggiore quota di alimenti concentrati per integrare le scorte alimentari dell'azienda.

Parametro	Unità di misura	Azienda Barbiselle			Variazione %
		2018	2019	2020	
Vacche in lattazione	(n)	591	602	635	7%
Produzione di latte	(t/anno)	6.400	6.451	7.301	14%
Superficie aziendale	(ha)	219	221	224	3%
Tot alimenti acquistati	t/anno	3186	4215	4408	38%
Consumo di gasolio	l/anno	106.000	101.000	102.000	-4%
Consumo di elettricità	kWh/anno	430.079	390.178	390.260	-9%

Tabella 4: Variazione delle caratteristiche produttive e degli input aziendali dell'azienda Barbiselle nel corso del progetto.

Figura 3: Allattatrice automatica introdotta nell'azienda Barbiselle.

Da un punto di vista ambientale, l'azienda Barbiselle ha mostrato un valore di carbon footprint pari a 0,90 kg CO_2 eq/kg FPCM ed ha subito un incremento del 3% tra il 2018 e il 2019 dovuto principalmente all'introduzione nella mandria di molti animali giovani che sono meno produttivi rispetto agli animali adulti. Successivamente, si è avuta una riduzione del valore dell'11% del carbon footprint, dipeso dall'aumento della produttività della mandria, in coincidenza con la messa a regime dell'allattatrice.
Questo dispositivo consente infatti di:
- ridurre gli errori umani dovuti alla quantità, alla temperatura e alla concentrazione del latte;
- avere un maggiore controllo nell'assunzione di alimento e verifica sul singolo vitello attraverso la presenza di allarmi;
- utilizzare medicamenti immettendoli direttamente nel circuito del latte;
- ottenere uno svezzamento più graduale del vitello personalizzandolo in base al peso e alla taglia dell'animale (cosa di non poco conto considerato che ogni vitello è diverso dagli altri);
- ridurre la mortalità degli animali;
- ottenere uno sviluppo ottimale del rumine e un buon accrescimento giornaliero;
- ottenere animali ben sviluppati e sani che possono raggiungere il primo parto a 24 mesi;
- garantire un corretto sviluppo del tessuto epiteliale mammario tenendo conto che la produzione futura di latte è proporzionale al numero di cellule epiteliali mammarie e alla quantità di sangue e nutrienti che arrivano alla mammella.

9.3 Conclusioni

I dispositivi di zootecnia di precisione utilizzati nelle tre aziende che hanno aderito al progetto mostrano alcune soluzioni per monitorare più efficacemente le condizioni di benessere, stato di salute e la produttività di ogni singolo animale. Con il monitoraggio si può ridurre l'impiego di farmaci e antibiotici, raggiungendo uno degli obiettivi previsti con la nuova PAC, si possono aumentare le probabilità di successo nel recupero dello stato di salute dell'animale, si può ridurre la perdita di produzione a seguito di una malattia e si può migliorare di conseguenza l'efficienza ambientale della mandria.
Allevare una manza nelle migliori condizioni e garantirle una razione alimentare corretta consente di preparare l'animale ad una vita lunga e produttiva con più parti e più lattazioni, riducendo inoltre il periodo di crescita improduttivo. Questo fa sì che i consumi e le emissioni del periodo di crescita improduttivo si diluiscono in un periodo produttivo più lungo e ciò comporta un miglioramento dell'efficienza. Inoltre, animali sani perché allevati in condizioni di benessere sono meno soggetti alle malattie, hanno meno bisogno di farmaci e producono di più perché più efficienti. Questa loro maggiore efficienza determina un miglioramento delle prestazioni ambientali; purtroppo, però i risultati di questo miglioramento dell'efficienza sono visibili in tempi piuttosto lunghi.
In futuro, sono necessari ulteriori studi eseguiti con approccio LCA per valutare l'effetto dell'applicazione dei dispositivi di zootecnia di precisione sul miglioramento delle prestazioni produttive e riproduttive della mandria per valutarne l'effettiva sostenibilità ambientale.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Capitolo 1

- Abeni F., Canevaro G., Richichi M. (2021). Il consumo di energia elettrica si può contenere, se monitorato. Stalle da Latte 1 (06), 44-49.
- Leso L., Uberti M., Morshed W., Barbari M. (2013). A survey of Italian compost dairy barns. Journal of Agricultural Engineering, XLIV: e17. https://doi.org/10.4081/jae.2013.e17.
- Marino R. (2020). Alimentazione di precisione in un'azienda a Parmigiano Reggiano. Bianconero n. 3.
- Marino R., Gastaldo A., Menghi A., Petrera F., Pirlo G., Abeni F. (2020). Dal Crea di Lodi, secondo contributo: Latte Digitale, la frontiera dell'innovazione. Dossier/nuovi spunti dalla ricerca. Informatore Zootecnico n. 20/2020, pag. 37-38.

Capitolo 2

- Abeni F., Marino R., Petrera F., Galli A., Speroni M. (2019). Più consapevolezza per un'azienda smart. Infornatore zootecnico n. 6 pag. 50-53
- Berckmans D. (2017). General introduction to precision livestock farming. Animal Frontiers 7 (1): 6–11. https://doi.org/10.2527/af.2017.0102.
- Cabrera V.E., Fadul-Pacheco L. (2021). Future of dairy farming from the Dairy Brain perspective: Data integration, analytics, and applications. International Dairy Journal 121: 105069. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105069.
- Fuentes S., Gonzalez V.C., Tongson E., Dunshea F.R. (2022). The livestock farming digital transformation: implementation of new and emerging technologies using artificial intelligence. Animal Health Research Reviews, 1–13. https://doi.org/10.1017/s1466252321000177.
- Hooven N.W. (1978). Cow Identification and Recording Systems. Journal of Dairy Science 61 (8): 1167–1180. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(78)83702-3.
- John A.J., Clark C.E.F., Freeman M.J., Kerrisk K.L., Garcia S.C., Halachmi I. (2016). Review: Milking robot utilization, a successful precision livestock farming evolution. Animal 10 (9): 1484–1492. https://doi.org/10.1017/S1751731116000495.
- de Koning C.J.A.M. (2011). Milking Machines: Robotic Milking. In Encyclopedia of Dairy Sciences: Second Edition, pp. 952–958. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00360-5.
- Marino R. (2019). Il digitale nella filiera del latte bovino. Infornatore zootecnico n. 18 pag 54-58.
- Marino R., Abeni F. (2021). Benessere animale e produzione di latte. Informatore zootecnico n.20 pag. 45-48.
- Parsons D.J., Randle D.G. (1993). A message system to integrate diverse programs and databases in a farm decision support system. Computers and Electronics in Agriculture 8 (2): 117–127. https://doi.org/10.1016/0168-1699(93)90011-O.
- da Rosa Righi R., Goldschmidt G., Kunst R., Deon C., André da Costa C. (2020). Towards combining data prediction and internet of things to manage milk production on dairy cows. Computers and Electronics in Agriculture 169: 105156. https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105156.
- Rossing W. (1999). Animal identification: Introduction and history. Computers and Electronics in Agriculture 24 (1-2): 1–4. https://doi.org/10.1016/S0168-1699(99)00033-2.

- Rutten C.J., Velthuis A.G.J., Steeneveld W., Hogeveen H. (2013). Invited review: Sensors to support health management on dairy farms. Journal of Dairy Science 96 (4): 1928–1952. https://doi.org/10.3168/JDS.2012-6107.
- Schuetz C.G., Schausberger S., Schrefl M. (2018). Building an active semantic data warehouse for precision dairy farming. Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce 28 (2): 122–141. https://doi.org/10.1080/10919392.2018.1444344.

Capitolo 3

- 4D4F. Data Driven Dairy Decisions For Farmers 4D4F WP5 Community of Practice Deliverable 5.4.Third Annual Report for Researchers On Research Priorities On The Use Of Sensor Technologies To Improve Productivity And Sustainability On Dairy Farms https://www.4d4f.eu.
- Abeni F., Petrera F., Galli A. (2019). A Survey of Italian Dairy Farmers' Propensity for Precision Livestock Farming Tools. Animals 9(5), 202. https://doi.org/10.3390/ani9050202.
- Bollettino on line dell'Associazione Italiana Allevatori (2021), www.aia.it.
- Brandt M., Haussemann A and Hartung E. (2010). Invited review: technical solution for analysis of milk constituents and abnormal milk. J. Dairy Sci., 93(2):427-36. https://doi.org/10.3168/jds.2009-2565.
- Cozzi G. (2019). Per fare reddito non basta produrre molto latte. Supplemento a L'Informatore Agrario, n. 3, 22-25.
- Deng Z., H. Hogeveen, T.J.G.M. Lam, P.P.P. van der Tol, G. Koop (2020). Performance of online somatic cell count estimation in automatic milking systems Front. Vet. Sci., 7: 221. https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00221.
- Dolecheck K.A., Silvia W.J., Heersche Jr. G., Stone A.E., Wadsworth B.A., Bewley J.M. (2015). Behavioral and physiological changes around estrus events identified using multiple automated monitoring technologies. J. Dairy Sci. 98(12): 8723-8731. https://doi.org/10.3168/jds.2015-9645.
- Food and Agriculture Organization of The United Nations (FAO) (2011) The State of Food Insecurity in the World 2011, Roma. https://www.fao.org.
- Lopez H., Satter L.D., Wiltbank M.C. (2004). Relationship between level of milk production and estrous behavior of lactating dairy cows. Anim. Reprod. Sci. 81(3-4):209-23. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2003.10.009.
- Madureira A.M.L., Silper B.F., Burnett T.A., Polsky L., Cruppe L.H., Veira D.M., Vasconcelos J.L.M., Cerri R.L.A. (2015). Factors affecting expression of estrus measured by activity monitors and conception risk of lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 98(10):7003-14. https://doi.org/10.3168/jds.2015-9672.
- Mayo L.M., Silvia W.J.; Ray D.L., Jones B.W., Stone A.E., Tsai I.C., Clark J.D., Bewley J.M., Heersche.G Jr (2019). Automated estrous detection using multiple commercial precision dairy monitoring technologies in synchronized dairy cows. J Dairy Sci, 102(3):2645-2656. https://doi.org/10.3168/jds.2018-14738.
- Norberg E., Hogeveen H., Korsgaard I.R., Friggens N.C., Løvendahl P.(2004). Electrical conductivity of milk: Ability to predict mastitis infection status. J. Dairy Sci. 87: 1099-1107 https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73256-7.
- Petrera F. (2017) Zootecnia di precisione, il Crea: in Italia manca l'interazione fra i sensori. Informatore Zootecnico, 1/2017.
- Petrera F. (2018). Attività e ruminazione, monitoriamole così. Allevatori Top, Suppl., 2, n.8, pp 11-16.
- Petrera F., Abeni F. (2019). Sensori applicati in mungitura ed effetti per l'allevatore. L'Informatore Agrario 75 (37 Suppl. Stalle da latte), 39-42.
- Petrera F. (2020 a). Migliora le prestazioni riproduttive Rilievo dei calori, perché quello automatizzato. Tecnica. Informatore Zootecnico n. 3-2020, pp 46-49.

- Petrera F. (2020 b). Così la relazione tra i due fattori: Zootecnia di precisione e salute delle bovine. Dossier zootecnia di precisione. Informatore Zootecnico, n. 6-2020, pp 38-43.
- Petrera F. (2020 c). Dal Crea di Lodi, primo contributo Robot di mungitura, mastiti e antibiotici. Dossier/ nuovi spunti dalla ricerca. Informatore Zootecnico n. 20/2020, 30-35.
- Petrera F. (2020 d). Analisi automatizzata del latte e prestazioni riproduttive. Management. Bianconero, settembre-ottobre 2020: 43- 47.
- Petrera F., Marino R., Zoggia A., Abeni F. (2021). PLFNoDrug: la zootecnia di precisione a supporto della messa in asciutta selettiva. Informatore Zootecnico, 20: 40-43.
- Petrera F., Zanini L. (2021 a). A tu per tu con i titolari di una stalla robotizzata. Esperienza in stalla. Gestione innovativa: un esempio di successo. Stalle da Latte 2/21: 55-58.
- Petrera F., Zanini L. (2021 b). Quando robot e sensori aiutano a diventare "grandi". Stalle da Latte 3/21: 55- 58.
- Petrera F., Zanini L. (2021 c). Il passaggio da tradizionale a robot cosa ha cambiato oltre alla mungitura. Tecnica. La storia di due aziende agricole del Cremonese. Stalle da Latte 4/21: 57-60.
- Regolamento (UE) 2019/6 del Parlamento europeo e del Consiglio dell'11 dicembre 2018 relativo ai medicinali veterinari e che abroga la direttiva 2001/82/CE. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea (n. L4/43) del 7 gennaio 2019).
- Sørensen L.P., Bjerrin M.&, Løvendahl P (2016) Monitoring individual cow udder health in automated milking systems using online somatic cell counts. J. Dairy Sci., 99(1): 608-620. https://doi.org/10.3168/ jds.2014-8823.
- Stangaferro M.L. , Wijma R., Caixeta L.S., Al-Abri M.A., Giordano J.O. (2016). Use of rumination and activity monitoring for the identification of dairy cows with health disorders: Part II. Mastitis. J. Dairy Sci. 99(9):7411-7421. https://doi.org/10.3168/jds.2016-10908.
- Stygar A.H., Gómez Y., Berteselli G. V. et al. (2021). A systematic review on commercially available and validated sensor technologies for welfare assessment of dairy cattle. Front. Vet. Sci. 8: 634338. https:// doi.org/10.3389/fvets.2021.634338.
- Vreeburg N. (2010). Precision Management On Two Dutch Dairy FarmsBy Use Of Herd Navigator®. The First North American Conference on Precision Dairy Management.

Capitolo 4

- Abeni F., Canevaro G., Richichi M. (2022). Carte di controllo ABC della zootecnia di precisione. Stalle da latte n. 1/2022.
- Bonizzi S., Gislon G., Brasca M., Morandi S., Sandrucci A., Zucali M. (2022). Air Quality, Management Practices and Calf Health in Italian Dairy Cattle Farms. Animals 12, 2286 https://doi.org/10.3390/ ani12172286.
- Chigerwe M., Tyler J.W., Middleton J.R., Spain J.N., Dill J.S., Steevens B.J. (2008). Comparison of Four Methods to Assess Colostral IgG Concentration in Dairy Cows. Journal of the American Veterinary Medical Association 233(5):761–66. https://doi.org/10.2460/javma.233.5.761.
- Costa A., Boselli C., De Marchi M. (2021). Effect of Body Weight and Growth in Early Life on the Reproductive Performances of Holstein Heifers. Agriculture 2021, 11, 159 https://doi.org/10.3390/ agriculture11020159.
- Elizondo-Salazar J.A., Jones C.M., Heinrichs A.J. (2010). Evaluation of calf milk pasteurization systems on 6 Pennsylvania dairy farms. J. Dairy Sci. 93, 5509-5513 https://doi.org/10.3168/jds.2010-3460.
- Ellingsen-Dalskau K., Mejdell C.M., Holand T., Ottesen N., Larsen S. (2020). Estimation of minimum tolerated milk temperature for feeding dairy calves with small- and large-aperture teat bottles: A

complementary dose-response study. J. Dairy Sci. 103, 10651-10657. https://doi.org/10.3168/jds.2020-18460.
- Gastaldo A. (2020). Facciamo il punto sulla stabulazione del vitello. Allevatori TOP 4 (01), 36-40.
- Gleeson, D., O'Brien, B., O'Donovan, K. (2008) - The labour input associated with calf care on Irish farms - Livestock Science 16, 82-89.
- Handcock R., Lopez-Villalobos N., McNaughton L., Back P., Edwards G., Hickson R. (2019). Positive relationships between body weight of dairy heifers and their first-lactation and accumulated threeparity lactation production. J. Dairy Sci. 102, 4577-4589 https://doi.org/10.3168/jds.2018-15229.
- Kaufman J., Linington M., Osborne V.R., Wagner-Riddle C., Wright T. C. (2015). Short Communication: Field study of air ammonia concentrations in Ontario dairy calf housing microenvironments. Can. J. Anim. Sci. 95, 539-542.
- Islam M.A., Ikeguchi A., Naide T. (2020). Influence of temperature and humidity on the dynamics of aerosol numbers and airborne bacteria in a dairy calf house. biosystems engineering 194, 213-226 https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.04.003.
- McGuirk S.M., Collins M. (2004). Managing the Production, Storage, and Delivery of Colostrum. Veterinary Clinics: Food Animal Practice 20(3):593–603. https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2004.06.005.
- Morin D.E., Constable P.D., Maunsell F.P., McCoy G.C. (2001). Factors Associated with Colostral Specific Gravity in Dairy Cows. J. Dairy Sci. 84(4):937–43. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74551-1.
- Parsons S.D., Steele M.A., Leslie K.E., Renaud D.L., Reedman C.N., Winder C.B., De Vries T.J. (2022). Effect of a milk byproduct–based calf starter feed on dairy calf nutrient consumption, rumen development, and performance when fed different milk levels. J. Dairy Sci. 105, 281-300 https://doi.org/10.3168/jds.2021-21018.
- Sinnott A.M., Kennedy E., Bokkers E.A.M. (2021). The effects of manual and automated milk feeding methods on group-housed calf health, behaviour, growth and labour. Livest Sci. 244, 104-343. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.

Capitolo 5

- AA. VV., (2022). Il mercato del latte – Rapporto 2021. (a cura di Daniele Rama) SMEA – Università Cattolica del S. Cuore, Cremona, Italy – ISBN 979-12-210-1556-0.
- De Marchi M., Toffanin V., Cassandro M., Penasa M. (2014). Invited review: Mid-infrared spectroscopy as phenotyping tool for milk traits. J. Dairy Sci. 97 (3), 1171-1186. https://doi.org/10.3168/jds.2013-6799.
- Duffield T.F., Kelton D.F., Leslie K.E., Lissemore K.D., Lumsden J.H. (1997). Use of test day milk fat and milk protein to detect subclinical ketosis in dairy cattle in Ontario. Can Vet J 1997; 38: 713-718.
- Enemark J. (2008). The monitoring, prevention and treatment of sub-acute ruminal acidosis (SARA): A review. Veterinary Journal 176, 32-43. https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.12.021.
- Li, S.;Wei, X.; Song, J.; Zhang, C.; Zhang, Y.; Sun, Y. (2021). Evaluation of Statistical Process Control Techniques in Monitoring Weekly Body Condition Scores as an Early Warning System for Predicting Subclinical Ketosis in Dry Cows. Animals 11, 3224. https://doi.org/10.3390/ani11113224.
- Mostert PF, Bokkers EAM, van Middelaar CE, Hogeveen H, de Boer IJM (2018). Estimating the economic impact of subclinical ketosis in dairy cattle using a dynamic stochastic simulation model. Animal 12, 145-154. https://doi.org/10.1017/S1751731117001306.

Capitolo 8

- Abeni F., Petrera F., Galli A. (2019). A survey of Italian dairy farmers' propensity for precision livestock farming tools. Animals 9, 202. https://doi.org/10.3390/ani9050202.
- Adrian AM, Norwood SH, Mask PL (2005). Producers' perceptions and attitudes toward precision agriculture technologies. Comput Electron Agric. 48, 256-271 https://doi.org/10.1016/j.compag.2005.04.004.
- ISTAT (2021). LA DIFFUSIONE DELLE TECNOLOGIE NELLE AZIENDE ZOOTECNICHE | ANNO 2020. Statistiche Report 4 maggio 2021. https://www.istat.it/it/files/2021/05/Report-tecnologie-aziendezootecniche_2020.pdf.
- Rogers E.M. (1983). Diffusion of Innovation's third ed. The Free Press, New York, NY.

Capitolo 9

- Arrouays D., Balesdent J., Germon J.C., Jayet P.A., Soussana J.F., Stengel P. (2002). Stocker du carbone dans les sols agricoles de France? Rapport. INRA. 334 p. hal-02832401
- Berckmans D. (2014). Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. Rev. Sci. Tech. 33, 189-196. https://doi.org/10.20506/rst.33.1.2273.
- Boselli L. (2015). Environmental assessment of the main northern Italy beef production systems using an LCA methodology. PhD thesis, University of Milan, Department of Animal Sciences.
- CML, Bureau B&G, School of System Engineering, Policy Analysis and Management Delft University of Technology (2001). 'Life cycle assessment: an operational guide to the ISO standards.
- Dollé J.B., Faverdin P., Agabriel J., Sauvant D., and Klumpp K. (2013). Contribution de l'élevage bovin aux émissions de GES et au stockage de carbone selon les systèmes de production (contribution of cattle farming to GHG emissions and carbon storage). Fourrages, 215: pp.181–191 ffhal-01173674.
- EMEP/EEA. (2013). Emission inventory guidebook 2013. Technical guidance to prepare national emission inventories. EEA Technical report No 12. ISSN 1725-2237.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2009). How to feed the world in 2050? Report of the FAO expert meeting 24-26 June, Rome.
- Gac A., Manneville V., Raison C., Charroint T., Ferrand M. (2010). L'empreinte carbone des élevages d'herbivores: présentation de la méthodologie d'évaluation appliquée à des élevages spécialisés lait et viande. Renc Rech Ruminants 17: 335-342.
- Gerber P.J., Vellinga Th.V., Opio C., Steinfeld H. (2011). Productivity gains and greenhouse gas emissions intensity in dairy systems. Livestock Science, 139. 100-108. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.012
- Gac A., Deltour L., Cariolle M., Dollé J.B., Espagnol S., Flénet F., Guingand N., Lagadec S., Le Gall A., Lellahi A., Malaval C., Ponchant P., Tailleur A. (2010). GES'TIM, Guide méthodologique pour l'estimation des impacts des activités agricoles sur l'effet de serre. Version 1.2.
- Herzog A., Winckler C., Zollitsch W. (2018). In pursuit of sustainability in dairy farming: A review of interdependent effects of animal welfare improvement and environmental impact mitigation. Agric. Ecosyst. Environ., 267: 174-187. https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.029.
- IDELE, 2018. CAP'2ER methodology guide. Institut d'Elevage, Paris, France. Retrieved on 15 May 2018-http://idele.fr/presse/publication/idelesolr/recommends/guide-methodologique-cap2er.htm.
- IPCC, 2006. Emissions from livestock and manure management. Chapter 10-11 in IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory. Vol. 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use.

- ISO. 2006a. Environmental management –Life cycle assessment - Principles and Framework. ISO 14040 (E). International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO. 2006b. Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. ISO 14044 (E). International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Leip A., Billen G., Garnier Josette., Grizzetti B., Lassaletta L., Reis S., Simpson D., Sutton MA., de Vries W., Weiss F., Westhoek H. (2015). Impacts of European livestock production: nitrogen, sulphur, phosphorus and greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity. Environ. Res. Lett. 10, Number 11, pp.1-14.
- MAAF., 2012. Fiche BCAE VII - Maintien des particularités topographiques. Fiche conditionnalité 2013 - Domaine "BCAE".
- Mallin M.A., Mclever M.R., Robuck A.R., Dickens A.K. (2015). Industrial swine and poultry production causes chronic nutrient and fecal stream pollution. Water, Air & Soil Pollution, 226, p.407. https://doi.org/10.1007/s11270-015-2669-y.
- Pirlo G., Lolli S. (2019). Environmental impact of milk production from samples of organic and conventional farms in Lombardy (Italy). Journal of Cleaner Production, 211, pp. 962–971. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.070.
- Pirlo G., Speroni M. (2020). Benessere animale e sostenibilità ambientale della produzione zootecnica. Documento realizzato nell'ambito del Programma Rete Rurale Nazionale 2014-20 Piano di azione biennale 2019-20, Scheda progetto CREA 24.1 Benessere Animale.
- Pulina G., Dias Francesconi A. H., Mele M., Ronchi B., Stefanon B., Sturaro E., Trevisi E. (2011). Sfamare un mondo di nove miliardi di persone: le sfide per una zootecnia sostenibile. Italian Journal of Agronomy, 6(s2), e7. https://doi.org/10.4081/ija.2011.6.s2.e7.
- Ramankutty N., Mehrabi Z., Waha K., Jarvis L., Kremen C., Herrero M. et al. 2018. Trends in global agricultural land use: implications for environmental health and food security. Annu. Rev. Plant. Biol. 69, 789-815. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042817-040256.
- Reilly M., Willenbockel D. (2010). Managing uncertainty: a review of food system scenario analysis and modelling. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 365 (1554): 3049-3063. https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0141
- Sauvant D., Nozière P. (2013). La quantification des principaux phénomènes digestifs chez les ruminants: les relations utilisées pour rénover les systèmes d'unités d'alimentation énergétique et protéique. INRA Prod. Anim., 26 (4): 327 – 346. https://doi.org/10.20870/productions-animales.2013.26.4.3162.
- Soussana J.F., Tallec T., Blanford V. (2009). Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. Animal, 4: 334-350. https://doi.org/10.1017/S1751731109990784.
- Zehetmeier M., Gandorfer M., Hoffmann H., Müller U.K., de Boer I.J.M., Heißenhuber A. (2014). The impact of uncertainties on predicted greenhouse gas emissions of dairy cow production systems, Journal of Cleaner Production, Volume 73, pages 116-124. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.09.054.
- Plaizier J.C., Krause D.O., Gozho G.N., McBride B.W. (2008). Subacute ruminal acidosis in dairy cows: The physiological causes, incidence and consequences. The Veterinary Journal. 176, 21-31. https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.12.016.
- Truman C.M., Campler M.R., Costa J.H.C. (2022). Body Condition Score Change throughout Lactation Utilizing an Automated BCS System: A Descriptive Study. Animals 12, 601. https://doi.org/10.3390/ani12050601.

AUTORI

- **Fabio Abeni** – CREA-ZA Centro di ricerca Zootecnia e Acquacoltura, sede di Lodi
- **Marzia Borciani** – Fondazione CRPA Studi Ricerche, ETS di Reggio Emilia
- **Greta Canevaro** – CREA-ZA Centro di ricerca Zootecnia e Acquacoltura, sede di Lodi
- **Sara Carè** – CREA-ZA Centro di ricerca Zootecnia e Acquacoltura, sede di Lodi
- **Alessandro Gastaldo** – Fondazione CRPA Studi Ricerche, ETS di Reggio Emilia
- **Rosanna Marino** – CREA-ZA Centro di ricerca Zootecnia e Acquacoltura, sede di Lodi
- **Alberto Menghi** – Fondazione CRPA Studi Ricerche, ETS di Reggio Emilia
- **Ambra Motta** – Fondazione CRPA Studi Ricerche, ETS di Reggio Emilia
- **Francesca Petrera** – CREA-ZA Centro di ricerca Zootecnia e Acquacoltura, sede di Lodi
- **Giacomo Pirlo** – CREA-ZA Centro di ricerca Zootecnia e Acquacoltura, sede di Lodi

Si ringraziano:

- il personale degli allevamenti che hanno partecipato al progetto
- il personale messo a disposizione dalle case costruttrici o fornitrici delle strumentazioni di zootecnia di precisione, sia per la cortesia, sia per la correttezza negli interventi a supporto degli eventi dimostrativi negli allevamenti
- Annamaria Ardigò per il supporto al coordinamento del progetto

Coordinamento: **Libera Associazione Agricoltori Cremonesi**

Progetto grafico e impaginazione: **Angelo Ghidelli** *(PubliA Div. Comm. S.E.C. Spa)*

Stampa: **Fantigrafica Srl, via delle Industrie, 38 - Cremona**

Copyright: **CREA Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria**
Sede principale: Via della Navicella 2/4, 00184 Roma

Finito di stampare in febbraio 2023

ISBN 979-12-80950-36-9